



Strategi for udvikling af lavenergiløsninger til eksisterende byggeri

Tommerup, Henrik M.

Publication date:
2010

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M. (2010). *Strategi for udvikling af lavenergiløsninger til eksisterende byggeri*. BYG Sagsrapport No. SR 10-02

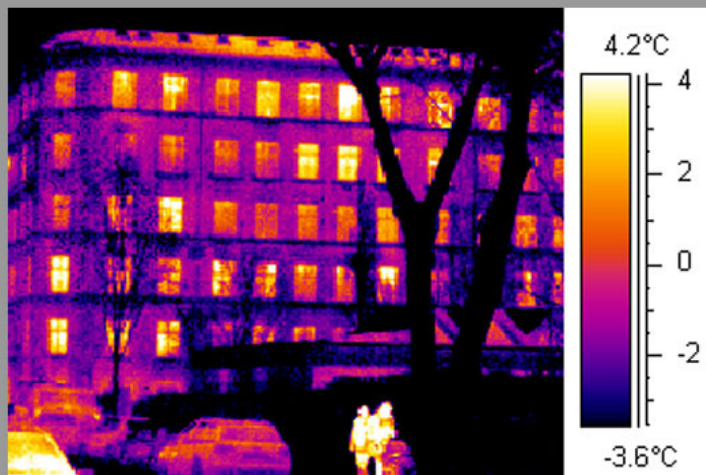
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Strategi for udvikling af integrerede lavenergiløsninger til eksisterende bygninger



Sagsrapport

Institut for Byggeri og Anlæg
2009

DTU Byg-Sagsrapport SR-10-02 (DK)
April 2010


AALBORG UNIVERSITET

 TEKNOLOGISK
INSTITUT

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

 Statens Byggeforskningsinstitut
AALBORG UNIVERSITET

Forord

Denne rapport om strategi for lavenergienergirenovering af eksisterende bygninger indeholder resultater af en løbende strategiudvikling, som udføres i LavEByg-netværket - innovationsnetværk for integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet. LavEByg-netværket er støttet økonomisk af Forsknings- og Innovationsstyrelsen.

Netværkets sekretariat ved DTU Byg har koordineret indsatsen. Netværkets kerneaktører (se nedenfor) har leveret konkrete skriftlige bidrag vedrørende de faglige delområder, de har ansvaret for, svarende til områder, hvor de besidder særlig ekspertise. Netværkets medlemmer har bidraget til rapporten i forbindelse med afholdelse af f.eks. workshops, hvor de har haft mulighed for at komme med input, kommentarer mm.

Strategiudviklingen er en dynamisk proces, der foretages løbende og afspejler opbygningen af viden og udviklingen på området. Det er hensigten af strategien revideres og videreudvikles årligt. På baggrund af strategien og de identificerede forsknings- og udviklingsbehov, søges iværksat forsknings-, udviklings- og demonstrationsprojekter samt andre relevante projekter, f.eks. udredninger og videnformidlingsprojekter.

Rapportens er opdelt i fire hovedafsnit:

Mission og vision for LavEByg
Strategi for lavenergienergirenovering af eksisterende bygninger
F&U strategier på faglige delområder
Forslag til projekter

Følgende personer har deltaget i udarbejdelsen af strategirapporten:

Henrik Tommerup, DTU Byg (redaktør)
Svend Svendsen, DTU Byg
Simon Furbo, DTU Byg
Bjarne Olesen, ICIEE – DTU Byg
Per Heiselberg, Aalborg Universitet (AAU)
Kjeld Johnsen, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet (SBI-AAU)
Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut
Christian Holm Christiansen, Teknologisk Institut
Ivan Katic, Teknologisk Institut

De ansvarlige kerneaktører for strategiudviklingen på konkrete faglige delområde har været:

Hele bygningen, isoleret klimaskærm, energivinduer, solvarme (DTU Byg)
Glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger og belysning (SBI-AAU)
Vandbåret opvarmning og køling (ICIEE – DTU Byg)
Luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling (AAU)
Fjernvarme og solvarme og solceller (Teknologisk Institut)

Alle kerneaktører har bidraget til at de mere procesorienterede aspekter, som er integreret i strategiudviklingen.

Indhold

FORORD	1
1 MISSION OG VISION.....	3
2 STRATEGI FOR LAVENERGIRENOVERING AF EKSISTERENDE BYGNINGER..	4
2.1 Bidrag til løsning af klimaproblemet	4
2.2 Energipolitisk grundlag	5
2.3 Krav i bygningsreglementet mv.....	7
2.4 Forskning, udvikling og demonstration	8
3 F&U STRATEGIER PÅ FAGLIGE DELOMRÅDER.....	10
3.1 Hele bygningen	12
3.2 Isoleret klimaskærm.....	20
3.3 Energivinduer	31
3.4 Glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger	41
3.5 Belysning.....	49
3.6 Vandbåret opvarmning og køling	55
3.7 Luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling	59
3.8 Lavenergifjernvarme til lavenergibebyggelser	64
3.9 Solvarme- og solcelleanlæg.....	74
4 FORSLAG TIL PROJEKTER	80
4.1 Hele bygningen	80
4.2 Isoleret klimaskærm.....	81
4.3 Energivinduer	82
4.4 Glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger.....	84
4.5 Belysning.....	84
4.6 Vandbåret opvarmning og køling	84
4.7 Luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling	85
4.8 Fjernvarme	86
4.9 Solvarme- og solcelleanlæg.....	88
5 REFERENCER.....	91

1 Mission og vision

LavEByg-netværkets mission er at styrke samarbejdet om forskning og udvikling vedrørende vidtgående energibesparelser og energieffektiviseringer i bygninger. Netværket vil stimulere udviklingen af integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet ved at bringe de forskellige aktører i form af vidensinstitutioner, byggevareproducenter, rådgivende ingeniører, arkitekter og udførende sammen i fælles forsknings- og udviklings- og demonstrationsprojekter. Derved muliggøres en større anvendelse af forskningsbaseret viden i byggeerhvervet til løsning af de højteknologiske problemstillinger i forbindelse med udviklingen af integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet.

LavEByg-netværkets vision er at skabe grundlaget for at alle nye bygninger og eksisterende bygninger, der renoveres gennemgribende fra og med 2015, kan nøjes med et så lille energibehov, at det vil kunne komme fra vedvarende energisystemer. Dette skal ske gennem en kontinuerlig udvikling af energirigtige og sunde løsninger til byggeriet. Kort sagt: Visionen er at udvikle bygninger med et godt indeklima, som ikke har behov for energi fra fossile brændsler.

LavEByg's vision er uddybet i LavEByg's strategirapport for lavenergiløsninger til nye bygninger (kapitel 2) under overskriften "Energi 2050". Den beskriver en ny bæredygtig energiløsning for hele energiforbruget i Danmark, der indebærer en udfasning af brugen af fossile brændsler i 2050, samt beskriver energiløsningen på bygningsområdet, som er at udvikle teknikken til nyopførelse eller renovering af bygninger til lavenergiklasse 1 eller passiv hus niveau fra 2015.

2 Strategi for lavenergirenovering af eksisterende bygninger

LavEByg vil arbejde på at stimulere til et samarbejde mellem stat, kommuner, regioner, energidistributionsselskaber og byggebranchen om udvikling af optimale løsninger på en langsigtet koordineret energirenovering af bygninger og energiforsyningssystemer – lokalt og regionalt samt på landsplan. LavEByg vil konkret søge at skabe grundlag for at staten ved kommende revisioner af bygningsreglementet kan stille krav om lavenergiløsninger ved renovering, så al fremtidig energirenovering er fremtidssikret. Grundlaget skabes ved at kravene gøres acceptable gennem udvikling af vidtgående renoveringsløsninger som kombinerer vidtgående energibesparelser med bedre holdbarhed af nye løsninger.

2.1 Bidrag til løsning af klimaproblemet

Regeringens energipolitik og EU's energipolitik har fokus på bæredygtig udvikling, konkurrenceevne og forsyningssikkerhed. Regeringens langsigtede mål er, at: "Danmark skal være 100 % uafhængig af fossile brændsler". Dette fremgår af regeringsgrundlaget "Mulighedernes samfund" fra 22. november 2007. Dette skal blandt andet ses i lyset af Danmarks selvforsyning med olie og gas har en relativt kort tidshorisont på op til et par årtier, og at alternativet i form af afhængighed af olie og gas fra udemokratiske stater i f.eks. mellemøsten ikke er en politisk acceptabel løsning. Der er umiddelbart mulighed at købe billigt kul fra stabile og demokratiske lande, men der er betydelige miljøproblemer forbundet med afbrændingen, så dette er ikke en realistisk fremtidsorienteret energiforsyningsløsning. Det er derimod energibesparelser og øget anvendelse af vedvarende energikilder.

En massiv indsats for at reducere forbruget af fossile brændsler og dermed CO₂ udledningerne er i tråd med FN's klimapanel, som konkluderer, at klimaforandringerne er menneskeskabte og at den globale temperatur og dermed klimaforandringerne udvikler sig langt hurtigere end hidtil forventet. Videre konkluderes, at hvis ikke verdens politikere handler nu og reducerer udledningerne af CO₂ og andre drivhusgasser, vil muligheden for at begrænse de værste konsekvenser af klimaforandringerne være forpasset.

Den seneste globale klimaaftale (Kyoto aftalen fra 1997) pålægger EU samlet set at reducere udledningen af de væsentligste drivhusgasser med 8 % over perioden 2008-2012 i forhold til 1990 niveau. Danmark er gået med til at reducere sine udledninger med 21 %. På FN's klimakonference på Bali i december 2007 aftalte man at indlede formelle forhandlinger om en snarlig ny aftale. Den danske regering arbejdede for at klimatopmødet i København i 2009 skulle føre til en forpligtende og ambitiøs klimaaftale for perioden efter 2012, inkl. store lande som USA og Kina, men det lykkedes ikke.

Energiforbruget i bygninger udgør 40 % af det samlede energiforbrug i Danmark (og EU). Det er samtidig dokumenteret at der er et stort rentabelt energibesparelspotentiale på op mod 80 %. Dette potentiale kan realistisk set realiseres over de næste 40 år ved opførelse af nye lavenergibygninger og renovering af eksisterende bygninger til lavenergiveau. Indfrielse af potentialet i perioden frem mod 2050, svarer til at en energibesparelse på "kun" 2 % pr. år. Byggeriet kan derfor bidrage væsentligt til at sikre opfyldelse af de nuværende og ikke mindst kommende danske reduktionsmål, hvorved man vil bidrage betydeligt til gennemførelse af den langsigtede energipolitik om en bæredygtig udvikling, bedre konkurrenceevne og sikring af forsyningssikkerheden.

Samtidig kan især energirenovering af bygningsmassen blive en særdeles god forretning for byggebranchen og Danmark, som kan udføres af branchens mange store og små aktører i

form af danske producenter af energibesparende produkter i form af eksempelvis isoleringsmaterialer, vinduer, ventilationsanlæg, styring af varmeanlæg, elsparepumper og fjernvarmerør (hvoraf flere er førende internationale producenter på området) samt rådgivere og udførende, som en realistisk ekstra aktivitet i forhold til det normale aktivitetsniveau. Byggebranchen vil dermed kunne videreudvikle deres forretningsområde og skabe en egentlig energisparebranche med meget store erhvervsmæssige perspektiver.

2.2 Energipolitisk grundlag

I regeringens udspil til en visionær dansk energipolitisk frem mod 2025 (januar 2007), tilkendegav man at ville fokusere indsatsen på biobrændstoffer til transport, vindkraft, brint og brændselsceller, samt lavenergibygninger.

Dette udspil blev 21. februar 2008 udmøntet i en bred politisk aftale om dansk energipolitik i årene 2008-11, der har til formål at nedbringe Danmarks afhængighed af fossile brændsler.

Aftalen har følgende overordnede målsætninger:

- DK's bruttoenergiforbrug skal være faldet med 2 % i 2011 og 4 % i 2020 (ift. 2006).
- Årlige energibesparelser på 1,5 % af bruttoenergiforbruget i 2006 = 10,3 PJ pr. år.
- Energiselskabernes forpligtigelser øges fra 2,95 til 5,4 PJ/år fra 2010 og frem
- VE-andelen af bruttoenergiforbruget skal være mindst 20 % i 2011

Der er aftalt en række initiativer til opfyldelse af aftalens målsætninger, og på bygningsområdet er der følgende:

- Skærpelse af energikravene til nybyggeri med mindst 25 % i 2010, 2015 og 2020.
- Der afsættes min. 10 mio. kr. årligt i 2008-11 og 5-10 mio. kr. derefter til kampagner til fremme af energibesparelser i bygninger
- Der afsættes op til 10 mio. kr. årligt i 2008-11 til etablering af et "Videncenter for energibesparelser i bygninger"

2.2.1 Strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger

Regeringen har som del af aftalen udarbejdet en "Strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger" (Regeringen 2009). Strategien er baseret på dels en evaluering af den samlede energibesparelsesindsats (herunder energimærkningsordningen for bygninger), samt analyser af krav i bygningsreglementet, mærkningsordninger for vinduer, finansieringsformer, anvendelse af ESCO's, vurdering af barrierer, energiselskabernes tarifstruktur mv. Den er desuden udformet i fællesskab med byggeerhvervet gennem drøftelser i et til lejligheden nedsat et partnerskab for lavere energiforbrug i bygninger (EBST 2009). Partnerskabets anbefalinger til regeringen er:

- Danmark skal have verdens strammeste energikrav – men de skal være fleksible
- Der er behov for økonomiske incitamenter til energirenovering
- Det offentlige skal gå foran med at nedbringe energiforbruget
- Nye energikrav skal introduceres i god tid – så tid til innovation/produktudvikling
- Spydspids lavenergi nybyg og renovering skal fremmest og synliggøres
- Staten bør afsætte midler til at fremme innovation
- Indførelse af flere og skærpede komponentkrav
- Staten bør se på lejeloven ift. incitamenter til energibesparelser

- Lovgivning og politik skal understøtte et bedre indeklima, sundhed og arkitektur
- Offentlige udbudsformer og kriterier der understøtter ovenstående
- Det skal sikres, at energikravene til bygninger overholdes

Partnerskabet angiver at det er afgørende, at der udarbejdes en samlet indsats, hvor myndigheder, energisektoren, alle byggeriets parter, videninstitutioner og bygningsejerne bidrager til at reducere energiforbruget. Den overordnede målsætning for en koordineret indsats formulerer partnerskabet således: "Løsninger og produkter skal sammentænkes og udvikles, byggevirksomhedernes viden og klima og energi i byggeriet skal øges, og brugernes viden om de klimamæssige, sundhedsmæssige, arkitektoniske og økonomiske potentialer ved energirenoveringer skal højnes"

Regeringen strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger, som regeringen fremlagde i april 2009, indeholder 22 konkrete tiltag til at nedbringe energiforbruget i såvel nybyggeri som i eksisterende bygninger indenfor tre indsatsområder: 1) Stramme energikrav til nye bygninger, 2) Energibesparelser i eksisterende bygninger og 3) Innovation og andre initiativer

2.2.2 Revision af energimærkningsordningen for bygninger

Energimærkningsordningen for bygninger er under revision. Dette har baggrund i ovennævnte evaluering af den danske energispareindsats fra 2008, hvor den blev kritiseret for at være ineffektiv, idet det ikke kunne påvises, at den afstedkommer væsentlige energibesparelser i bygninger. Energistyrelsen har igangsat et arbejde med at ændre energimærkningsordningen. Der er lagt op til en omfattende ændring, som har til formål at reducere omkostningerne til mærkningen ved at forlænge mærkets gyldighed, og at få en bedre nyttiggørelse af mærket via efteruddannelse af håndværkere mv. Der er umiddelbart ingen planer om integrering af ordning for tilstandsopgørelser. Den nye energimærkningsordning forventes at træde i kraft i 2010.

Som noget nyt har Energistyrelsen pr. september 2009 offentliggjort alle energimærkninger udført mellem 1. september 2006 og 5. juni 2009 (se www.ens.dk/energimaerkning). Siden vil senere blive opdateret, så alle rapporter kan fremvises på siden efterhånden som de udarbejdes.

2.2.3 Revision af EU's bygningsdirektiv

Selvom det eksisterende direktiv knapt er implementeret, er der allerede sat gang i en opdatering af det. I november 2008 kom EU-Kommissionen med et forslag til en ny udgave, som en del af det såkaldte "Second Strategic Energy Review", hvor fokus bl.a. er på forsyningssikkerhed, hvori øget energieffektivitet spiller en stor rolle.

Bygningsstandarderne i EU er meget forskellige. Nye, effektive bygninger kan måske opvarmingsmæssigt klare sig med mindre, end hvad der svarer til 3-5 liter olie/m²/år. Gennemsnittet af eksisterende bygninger ligger omkring 25 liter olie/m²/år, mens de værste ligger på op til 60 liter olie/m²/år. Kommissionens forslag lægger op til følgende:

- Stramning af kravet til hvornår minimumkrav til bygninger skal få effekt ved større renoveringer af bygninger. Alle bygningsstørrelser omfattes af reglerne - ikke kun bygninger over 1000m² som i dag.
- Stramning af bestemmelserne om energimærkning og information herom, tilsyn af varme-/airconditionanlæg, minimumskrav og eksperter

- Metode til at sikre, at minimumskravene til energimæssig ydeevne lever op til en cost-/benefitanalyse, og at der kan tages nationale/regionale hensyn
- Fremme af markedspositionen for lav- eller nulenergi huse
- Den offentlige sektor skal gå foran med krav til sine egne bygninger.

For Danmark indebar det nugældende direktiv (EPBD 2002/91/EC) ikke de store ændringer. F.eks. anvendte Danmark energimærker allerede før direktivets introduktion. Men for en del lande var implementeringen åbenbart vanskelig, for med henvisning til manglen på kvalificerede eksperter, udnyttede man direktivets mulighed for at udskyde implementeringen til 2009. Det nye direktiv (vedtaget af EU Parlamentet i maj 2010) forventes som det eksisterende ikke at give anledning til ændringer der endnu ikke er implementeret eller igangsat.

De ovennævnte initiativer og planer udgør et godt første skridt på vejen mod at kunne gennemføre en konvertering af hele bygningsmassen til lavenergi bygninger inden 2050.

2.3 Krav i bygningsreglementet mv.

For at realisere energirenovering af bygningsmassen og omstilling af energisystemet til vedvarende energi, kan der benyttes forskellige virkemidler. Et af de mest effektive virkemidler er krav i bygningsreglementet. Byggebranchen nyopfører og renoverer i dag typisk bygninger til et energimæssigt niveau svarende til de minimumskrav, der er anført i energibestemmelserne i bygningsreglementet. Det er kun i sjældne tilfælde at man gør det bedre end minimumskravene, selvom det typisk er forbundet med en bedre totaløkonomi, hvilket blandt andet at markedet ikke efterspørger lavenergiløsninger. Skærpelse af minimumskravene i bygningsreglementet, naturligvis baseret på et lødigt teknisk og økonomisk grundlag, kan sikre betydelige og rentable energibesparelser i bygningsmassen.

Det er derfor oplagt at staten benytter bygningsreglementets energibestemmelser til at sikre at energibesparelserne realiseres. Staten bør revidere bygningsreglementet, så lavenergiklasse 1 bliver et krav ved renovering af eksisterende bygninger, og det bør indføres hurtigst muligt, så al fremtidig energirenovering er fremtidssikret. Konkret må der stilles krav til at bygningsdele og installationer opgraderes til mindst niveauet for nye bygninger i forbindelse med renovering.

En revision af bygningsreglementet bør koordineres med revisioner af planloven og diverse love og regler, som understøtter udarbejdelse af energirenoveringsplaner og implementering af energirenoveringer af bygninger og energiforsyningsnet i hele Danmark. Der bør ske en stærk kobling mellem opgaverne i staten, kommunerne og energiselskaberne samt byggebranchen.

Herudover var det relevant med en indsats vedrørende afgifter på energiforbrug og tilskud til energibesparelser til stimulering af omstillingsprocessen, støtte til udviklingen af de tekniske renoveringsløsninger, så de får bedre holdbarhed og vidtgående energibesparelse, støtte til udviklingen af de tekniske løsninger til energiforsyningssystemer udelukkende baseret på vedvarende energi, samt støtte til udarbejdelse af vejledning i at lave energirenoveringsplaner. Samtidig bør energimærkningsordningen for bygninger revideres, så den understøtter omstillingen af bygningsmassen til energiforsyning med vedvarende energi.

Bygningsreglement 2010 (BR10) blev sendt i offentlig høring 26. marts 2010 og bekendtgjort 28. juni 2010 med overgangsperiode frem til ultimo december 2010. Formålet med det nye

BR10 er primært at gennemføre initiativer fra regeringens strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger. Disse retter sig mod såvel nybyggeri som eksisterende byggeri. Samtidig er der i forhold til indeklimakravene kommet nye undersøgelser og anbefalinger. I BR10 gennemføres derfor en række nye krav, ligesom flere af de allerede eksisterende krav skærpes. Implementering af regeringens strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger sker i kapitlerne 6,7 og 8. Revisionen af disse tre kapitler er det bærende element i BR10, da kapitlerne er blevet gennemgribende revideret. Ændringerne i bygningsreglementet, der relaterer sig til energikrav til bygningsdele og installationer, har hjemmel i Lov om ændring af byggeloven (L78), som blev vedtaget den 11 marts 2010.

2.4 Forskning, udvikling og demonstration

Der er behov for en betydelig forskning, udvikling og demonstration af nye løsninger til lavenergirenovering, som er sikre løsninger med lang levetid. Mere konkret er der behov for forskning, udvikling og demonstration vedrørende lavenergi koncept-, standard- og pakkelsninger, herunder komponent- og systemløsninger.

Der er behov for forskning på de områder, hvor der mangler viden og metoder, og udvikling af produkter og systemløsninger på områder, hvor der eksisterer viden, mens der er behov for demonstration / dokumentering af løsninger under virkelighedsnære forhold for at udbrede de energieffektive løsninger i markedet.

Der er behov for forskning, udvikling og demonstration på tre niveauer:

- Metoder og værktøjer til langsigtet planlægning af drift, vedligehold og renovering, samt beregnings- og konceptværktøjer til analyse af f.eks. kuldebroer, fugtforhold og dagslysforhold, og til generering af helhedsløsninger.
- Understøtning af udvikling af løsninger
- Vise løsninger på hele bygninger

Der er behov for løsninger til forskellige typiske bygningskategorier/-typer, som f.eks.:

Parcelhuse opført i 1960/70'erne
Murerhuse opført i perioden 1910-1940
Murede byejendomme fra perioden omkring år 1900
Murede etageejendomme fra efterkrigstiden
Betsandwichementbyggeri fra 1960/70'erne
Erhvervsbyggeri af forskellige aldre
Institutioner af forskellige aldre

Indsatsen bør målrettes de bygningstyper, hvor der er det største energisparepotentiale, samt bygningstyper med bevaringsværdige facader, hvor der må tages specielle hensyn.

Byggeerhvervet har et betydeligt behov for hjælp til udvikling af vidtgående energirenoveringsløsninger, herunder demonstration af løsningerne, som grundlag for at de kan udbredes i markedet. Det offentlige støtteprogram, Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP) udgør et godt omdrejningspunkt for denne udviklingsindsats, hvor videninstitutioner, virksomheder og myndigheder kan få støtte til fælles projekter til udvikling af vidtgående energirenovering. Partnerskabet EnergiByggeri – partnerskabet for energivenligt byggeri – er knyttet til dette program.

Bygninger er anerkendt som et vigtigt indsatsområde, så en del af EUDP's midler bør øremærkes til udvikling af lavenergibygninger, ligesom man har øremærket penge til udvikling af biobrændstoffer til transport, da der er mange relativt små og typisk ikke særligt forsknings- og udviklingsstærke virksomheder i byggeerhvervet, og derfor er mulighederne for direkte økonomisk medfinansiering af udviklingsprojekter meget begrænsede på bygningsområdet i forhold til øvrige områder.

3 F&U strategier på faglige delområder

Der redegøres i det følgende for forsknings- og udviklingsstrategier på konkrete faglige delområder vedrørende integrerede lavenergiløsninger til eksisterende bygninger.

Hvert fagligt delområde udredes under følgende fem overskrifter:

Beskrivelse af delområdet: Der anvendes en struktur på basis af produkter, da der er fokus på lavenergiløsninger i form af produkter. Produkter beskrives, funktioner af produkter beskrives mht. indeklima og sundhed, energiforbrug, økonomi og andre funktioner (sikkerhed, holdbarhed, miljøbelastning, æstetik) og processer beskrives i form af forskning, udvikling, projektering, produktion, opførelse, drift, renovering og nedbrydning.

Screening: Kvalitativ beskrivelse af teknologiudviklings- og forskningsmuligheder, så vidt muligt ved brug af SWOT analyser (styrker, svagheder, muligheder, trusler). Analyserne benyttes alene i forhold til udvikling og anvendelse af lavenergibyggeri.

Koblinger: Identifikation af de relevante sammenhænge mellem forskningen på universiteterne og de teknologiske udfordringer i byggeerhvervet.

Behov og muligheder: Skitsering af byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse. Behov hhv. muligheder skal forstås i sammenhængen efterspørgelses- hhv. udbudsorienteret byggebranche.

Fokusområder: Afgrænsning af fokusområder for FoU blandt de deltagende vidensinstitutioner i netværket.

Der sondres i beskrivelsen af de faglige delområder i nogen grad mellem byggeerhvervets enkelte hovedaktører, dvs. byggevarerproducenter, rådgivende ingeniører og arkitekter samt udførende.

Teknologi begrebet er centralt i forbindelse med strategien, og da der kan herske tvivl om hvad begrebet omfatter, er det relevant at komme med et forslag til definition, så der kan defineres en fælles referenceramme. En helhedsorienteret definition af teknologibegrebet går ud på at dele teknologien op i fire hovedbestanddele; teknik, viden, organisation og produkt:

Teknik:	Arbejdsmidler, -genstande og –kraft i arbejdsprocessen (hardware)
Viden:	Kunnen, indsigt og intuition i arbejdsprocessen (software)
Organisation:	Ledelse og koordination af arbejdsdelingen i arbejdsprocessen
Produkt:	Arbejdsprocessens resultat. Det indeholder brugsværdi og bytteværdi

Bestanddelene skal opfattes som analysefelter eller disposition for studiet af teknologiens indre strukturer og processer (teknologianalyse). Begrebsrammen kan passende danne udgangspunkt for studiet af den teknologiske ændringsproces, som virksomhedernes og dermed samfundets teknologi hele tiden undergår, der også kaldes den teknologiske udvikling.

En væsentlig del af en teknologianalyse går ud på at finde ud af hvad der sker med bestanddelene såfremt en af dem ændrer form og indhold, dvs. ændres kvalitativt. En grundlæggende tese er: ”De fire bestanddele af teknologien er således forbundne, at en

kvalitativ ændring af blot en af bestanddelene vil medføre kvalitative ændringer af de andre tre bestanddele.”

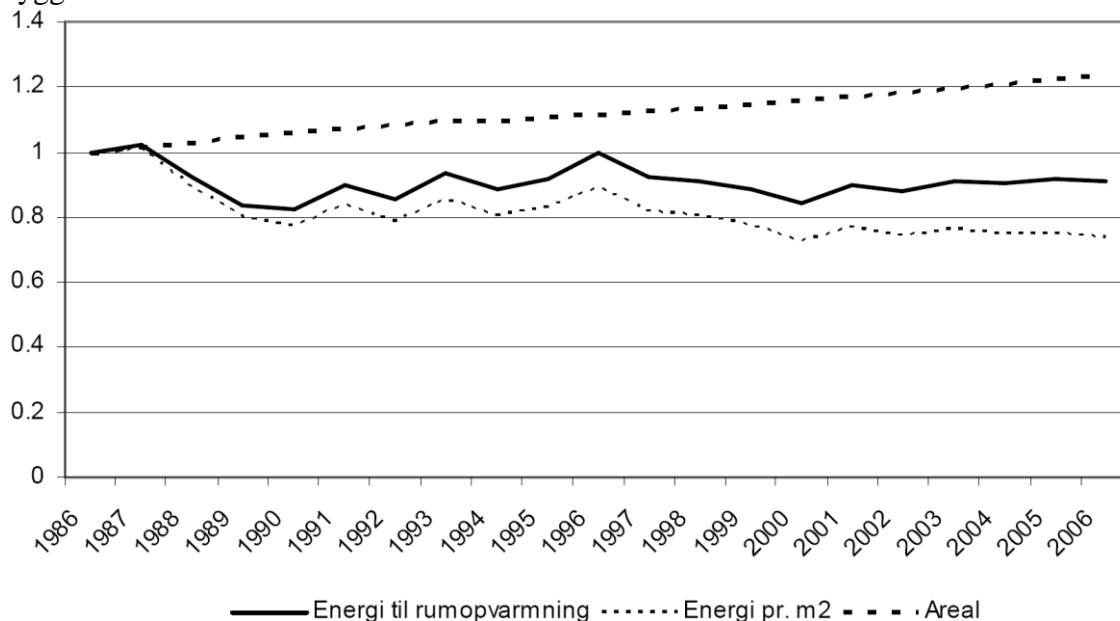
Der er ikke foretaget egentlige teknologianalyser i forbindelse med strategiudviklingen.

3.1 Hele bygningen

3.1.1 Beskrivelse af delområdet

Danmarks endelige energiforbrug (leveret til slutbrugerne) var på 673 PJ i 2008 (Energistyrelsen 2009). Heraf udgør energiforbruget til bygningsdrift omtrent 40 %. Energiforbruget til bygningsdrift omfatter det nødvendige energiforbrug til opfyldelse af de forskellige behov, som er forbundet med en normal brug af en bygning, dvs. energiforbrug til opvarmning, varmt brugsvand, køling, ventilation og belysning, herunder el til drift af ventilationsanlæg, cirkulationspumper, kedler mv. Dette er i overensstemmelse med EU's bygningsdirektiv om bygningers energimæssige ydeevne.

Hvis man ser på udviklingen i energiforbruget til bygningsdrift over tid, så skete der et betydeligt fald i starten af 1980'erne på grund af primært isoleringstiltag ansporet af energiprisstigninger, målrettede tilskud mv. Siden midten af 1980'erne har energiforbruget til opvarmning været nogenlunde konstant. Dette hænger sammen med at bygningsarealet er steget med over 20 %, se Figur 1. Varmeforbruget pr. m² er dog faldet med ca. 25 %, hvilket især skyldes energibesparelser i eksisterende bygninger. Energibesparelserne i eksisterende bygninger skyldes i høj grad mere effektive varmeanlæg på grund af blandt andet udbygningen af fjernvarme- og naturgasnettet i perioden, og altså i mindre omfang klimaskærmstiltag. Skærpede energikrav til nye bygninger har haft en lille betydning, da nybyggeriet er beskedent i forhold til den samlede bygningsmasse og bidrager til en udvidelse i den samlede bygningsmasse. Hvis energiforbruget fra bygningsdrift samlet set skal falde markant, skal det ske gennem vidtgående energibesparelser i det eksisterende byggeri.



Figur 1. Energiforbrug til opvarmning i boliger og handel og service bygninger (EBST 2008). Hvis man ser på fordeling af energiforbruget til bygningsdrift, så bruger boliger størstedelen af energien eller 85 % til opvarmning (rum og varmt vand), mens andelen f.eks. er ca. 70 % for bygninger til handel og service. Resten er elforbrug. Energiforbruget til bygningsdrift bruges primært i enfamiliehuse og etageboliger, hhv. 48 og 18 %. Privat handel og service bruger 17 %, offentlige institutioner 9 %, og produktionserhverv 10 %.

Varmeforbruget fordelt på bygningstype og opførelsesperiode fremgår af Tabel 1. Her ses en stor forskel på varmekonsumet i nyere og ældre bygninger. Det samlede opvarmede etageareal

er på ca. 560 mio. m², hvoraf ca. 275 mio. m² eller halvdelen er boliger. Størstedelen eller omtrent 70 % af det opvarmede etageareal er opført før 1979, hvor de første væsentlige stramninger af bygningsreglementets isoleringskrav blev indført.

Tabel 1. Bygningers specifikke varmeforbrug i kWh/m²/år, fordelt på type og periode for opførelse (Dansk Fjernvarme 2008)

[kWh/m ²]	Anv.	<1930	1931-1950	1951-1960	1961-1972	1973-1978	1979-1998	>1998
Stuehuse til landbrugsejendom	110	211	216	207	137	103	82	73
Parcelhuse	120	209	217	204	143	117	90	72
Række-, kæde- og dobbelthuse	130	175	178	162	120	98	74	65
Etageboligbebyggelse	140	168	164	144	126	102	80	64
Kollegier	150	188	184	164	145	122	100	84
Døgninstitutioner	160	268	270	268	196	196	163	161
Anden helårsbeboelse	190	228	239	223	158	132	105	86
Avls- og driftsbygning	210	45	45	45	33	33	22	22
Fabrikker, værksteder o.l.	220	120	120	120	97	97	66	66
El-, gas-, vand- og varmeværker	230	120	120	120	97	97	66	66
Anden bygning til produktion	290	120	120	120	97	97	66	66
Transport- eller garageanlæg	310	124	124	124	100	100	68	68
Kontor, handel, lager, off. adm.	320	126	126	126	105	105	77	77
Hotel, restauration, frisør o	330	226	226	226	195	195	123	123
Uspec. transport og handel	390	112	112	112	90	90	63	63
Bibliotek, kirke, museum o.l.	410	140	140	140	98	98	78	78
Undervisning, forskning o.l.	420	162	162	162	134	134	98	98
Hospital, sygehus o.l.	430	215	215	215	152	152	120	120
Daginstitutioner	440	236	236	236	186	186	129	129
Uspecificeret institution	490	215	215	215	152	152	120	120
Sommerhuse	510	74	76	74	58	58	42	40
Uspecificeret ferieformål	520	55	55	55	44	44	27	27
Idrætshaller, klubhuse	530	132	132	132	102	102	72	72
Kolonihavehuse	540	53	53	53	42	42	26	26
Uspecificeret fritidsformål	590	53	53	53	42	42	26	26

Hvis energiforbruget fra bygningsdrift som nævnt samlet set skal falde markant, skal det ske gennem vidtgående energibesparelser i det eksisterende byggeri.

Energispareindsatsen i bygninger er i dag koncentreret omkring energiselskabernes spareforpligtigelser, energimærkningsordningen (under revision), Videncenter for energibesparelser i bygninger, Center for energibesparelse (tidligere elsparefonden) og energibestemmelserne i bygningsreglementet. Sidstnævnte er umiddelbart et effektivt værktøj, som omfatter energimæssige krav ved større ombygninger/renoveringer samt krav til energimæssig opgradering af visse enkeltkomponenter vedr. klimaskærm og installationer. Hensigten med kravene er overordnet set at sikre, at der så vidt muligt sker en energimæssig opgradering til niveau for nybyggeri i forbindelse med renovering og udskiftning af bygningsdele. I forbindelse med fremtidige revisioner af kravene kan der forventes skærpede krav og flere komponentkrav.

Det er naturligvis vigtigt at samfundet og f.eks. private husejere er opmærksomme på de bygnings-/hustyper, hvor der forekommer det største potentiale for energiforbedringer. Potentialet for energibesparelser i bygninger afhænger af den eksisterende energimæssige standard og på bygningstype niveau også af omfanget. Der findes f.eks. ca. 450.000 parcelhuse fra perioden 1961-78, hvoraf mange er renoveringsmodne.

Energiforbedringer foretages bedst og billigst i forbindelse med nødvendige og større renoveringer, idet f.eks. prisen for superlavenergivinduer og effektiv udvendig facadeisolering er beskeden, hvis vinduerne alligevel skal skiftes og hvis facaden alligevel skal omfuges.

Realisering af potentialet afhænger altså især af om bygningstypen generelt er moden for renovering.

Bygningstyper med størst energisparepotentiale og opdelt på type og alder er følgende:

- Parcelhuse fra 1960/70'erne
- Murermesterhuse fra 1910-1940
- Etageboligejendomme – ældre (-1920), nyere (1930-60) og ejendomme i betonelementer (1960-80)
- Typeskoler fra 1960/70'erne

Det er nedenfor valgt at fokusere på disse bygningstyper, men også ældre kontor- og institutionsbyggeri har stort energisparepotentiale.

3.1.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Der er umiddelbart store forsknings- og udviklingsmuligheder i energirenovering af eksisterende bygninger. Disse muligheder understøttes af forventede nye og skærpede krav til eksisterende bygningers energiforbrug. Fremtidssikrede renoveringsløsninger, som mindsker energiforbruget til samme niveau som nybyggeri bør være i fokus.

Det er i alle bygninger muligheder for at lave rentable energibesparelser på bygningsdriften. Vidtgående energibesparelser bliver dog først rentable når de indføres i forbindelse med almindelig vedligeholdelse og renovering, hvor der så til gengæld ofte vil være tale om en særdeles attraktiv investering inklusiv forbedret indeklima og trivsel for bygningens beboere og brugere.

En væsentligt bedre varmeisolering uden forværring af indeklimaet er et basalt krav til fremtidens bygninger. Dette kræver fokus på udvikling af økonomisk fornuftige efterisoleringssystemløsninger og etablering af kontrolleret ventilation. Alle bygningsejere ønsker varmere ydervægge, gulve og lofter, samt bedre ventilation, der samlet set øger komforten markant og mindsker risikoen for skimmelsvamp. Udfordringen bliver at kunne tilbyde løsninger med æstetisk kvalitet, en rimelig økonomi og stor dokumenteret energibesparelse.

Der redegøres nedenfor nærmere mulighederne i bygningerne med størst sparepotentiale.

Murermesterhuse fra 1910-1940

Murermesterhuse eller Bedre Byggeskik-huse (efter Foreningen Bedre Byggeskik) er sin tids danske typehuse. De kendes på følgende:

- Facader i blank mur eller en glatpudset, kalket overflade
- Tag i røde teglsten og et enkelt udtryk med få eller ingen udsmykninger i facaden og intet decideret tagudhæng
- Klassiske proportioner, som især angik forholdet mellem facaden og taget, vinduernes størrelse og deres placering i facaden med god fordeling for optimalt dagslys mv.
- Bygget efter typetegninger for husets generelle udformning og bygningsdetaljer som skorstene, tagkviste, gesimser - og stort set alt andet.
- God gedigen kvalitet, praktisk og funktionelt indrettet i to etager plus kælder. Er i dag nogle af de mest eftertragtede huse.

Murermesterhuse er kompakte i udformning, hvilket begrænser varmetabet fra klimaskærmen. De er bygget med indvendige murværkskonstruktioner, som er gode til akkumulering af varmeoverskud, hvilket medfører mindre varmeforbrug og ikke mindst mere stabile indetemperaturer. Efterisolering af tagetage/-konstruktionen kan nemt lade sig gøre, dog begrænset muligheder ved skråvægge, mens efterisolering af ydervæggene er problematisk på grund af ofte bevaringsværdige facader og fugtproblemer ved indvendig isolering. Pudsede facaderne vil husejere dog formentlig ikke betragte som bevaringsværdige, så effektiv udvendig isolering kan etableres. Der er muligheder i udvikling af løsninger til kombineret facadeisolering inkl. renovering af taget, så det tilpasses den nye facade. Der er muligheder i udvikling af sikre løsninger til indvendig efterisolering med så få kuldebroer og lille negativ påvirkning af varmeakkumuleringsevnen, og set i sammenhæng med renovering af installationer. En oplagt mulighed ved energirenovering er bedre anvendelse af kælderen, enten ved konvertering til varme kælder eller isolering af kælderdek og varmeinstallationer.



Parcelhuse fra 1960/70'erne

Disse huse er typiske udført som længehuse i ét plan uden kælder og med ydervægge i kombination af letbeton bagvæg og murværk og med beskeden isoleringstykkelse mellem de to vanger. Lette vægpartier udført som træskelet konstruktion er også ret almindelige. Tagkonstruktionen er udført i gitterspær med uudnyttet loftrum og lagt af på karakteristisk trærem. Denne kategori af huse omfatter hele ca. 500.000 huse, som efterhånden er blevet 30-50 år gamle og står over for renovering/udskiftning af de basale bygningsdele: tag, vinduer og ydervægge. Husene er populære og de bærende konstruktioner er generelt i god stand, så nedrivning og nyopførelse er ikke oplagt. I forbindelse med renovering er arkitekturaspektet vigtigt og nye efterisolerede facader ikke er højt prioriteret sammenlignet med f.eks. nyt bad og køkken, jf. "Renovering af enfamiliehuset - Holdninger til arkitektur og økologi", SBI-meddelelse 134, 2000. Undersøgelsen viser at kun en tredjedel af dem der bor i 1960'ers parcelhuse mener, at deres eget hus er smukt, hvilket indikerer et relativt stort potentiale for udvendig klimaskærmsrenovering. Den viser også at man inspireres af at se på, hvordan andre med tilsvarende huse har løst renoveringsopgaven, og på den måde kan der opstå "modebølger" for, hvordan udvendige klimaskærmsrenoveringer kan udføres inden for et parcelhuskvarter.



Ældre etageejendomme (-1920)

Ældre etageejendomme (ca. 1850 – ca. 1920) er næsten altid udført med ydervægge i massivt murværk og med etagedæk og tagkonstruktion i træ. Husene er som regel opført uden isolering, hverken imod det fri eller imod evt. uopvarmet kælder og tagetage. Efterisolering og energirenovering af ældre etageejendomme stiller ofte store krav til en samlet vurdering af den bedst mulige arkitektoniske løsning sammenholdt med den bedste tekniske løsning.

Ofte har ældre etageejendomme nogle specielle arkitektoniske værdier, som der skal værnes om. Derfor er udvendig efterisolering sjældent en oplagt mulighed. Løsningen vil her være en indvendig efterisolering inkl. brystningspartier (stort varmetab pga. den tynde konstruktion og de ofte bagved placerede radiatorer) sammen med tiltag på bygningens varmeinstallationer og eventuelt ventilation med varmegenvinding, som dog er sjældent anvendt i dag. En indvendig efterisolering stiller dog særlige krav til den tekniske og materialemæssige indsigt i bygningen samt udførelsesmetoden. En forkert udført indvendig efterisolering kan nemlig påføre ejendommen skader i murværk, fugt- og indeklimaproblemer (f.eks. skimmelsvamp) mv.



Nyere etageejendomme (1930-60)

I denne kategori tænkes der på typiske ejendomme opført i perioden fra 1930'erne til omkring 1960. I perioden skiftede ejendommene udformning og udseende til en funktionalistisk stil, ofte med større vinduespartier og én eller flere altaner. Bygningerne er stadig primært udført med murede facader og etagedæk og tagkonstruktioner i træ, men i perioden med gradvis

overgang til hulmure og etagedæk/indervægge i beton. Brugen af gennemgående beton ud til facaden giver desværre nogle problemer med større kuldebroer, end hvis det var udført i murværk. Fordelen ved nyere etageejendomme er, at der generelt er større mulighed for at lave den teknisk og komfortmæssigt fordelagtige løsning med udvendig efterisolering. Såfremt ejendommen ikke har nogle særlige arkitektoniske værdier, kan en ny efterisoleret facade ligefrem give bygningen en nyt, smukkere og mere tidssvarende udsende og udtryk. At lave denne forvandling kræver en speciel arkitektonisk forståelse og teknisk viden.



Etageejendomme i betonelementer (1960-80)

Der blev opført en stor mængde etageboligbyggeri i betonelementer i perioden 1960/70'erne. Nye energikrav begynder at gøre indtog i denne periode – dog langt fra nutidens krav. Derfor ses betonelementbyggeri oftest udført med en begrænset mængde isolering mellem for- og bagmur, mod kælder og i tagkonstruktion/loft. Betonelementbyggeri giver ofte problemer med kuldebroer og elementsamlinger, der er blevet utætte igennem årene. Specielt ved betonelementbyggeri fra denne periode kan en forskønnelse af facader og tag med rette kombineres med en generel energirenovering af ejendommen. En ny facade kan således give ejendommen en helt ny identitet samtidig med energiforbruget reduceres mærkbart.



Typeskoler fra 1960/70'erne

I starten 1960'erne have skolebyggeriet taget et sådant omfang, at arkitektfirmaer lavede typeskoler, som de tilbød kommunerne. Så kunne kommunen vælge den størrelse, som man skønnede passede til børnetallet. Skoler fra denne periode er i én etage og ofte system/-modulbyggeri i betonelementer. Bygningen er delt op i flere dele, hvor hver del har sin funktion. Fordi skolen kun har én etage, bliver det samlede grundareal stort. Afstandene mellem de forskellige dele, fx fra klasselokale til faglokale, blev ret lange. På store skoler kan der let være op til ½ km fra en del til en anden. Et eksempel på en typeskole fra 1970'erne er

Baunebjergskolen i Humlebæk (se billedet nedenfor). Oplagt energisparetiltag på skoler fra perioden er at skifte vinduer og efterisolere facader, f.eks. i form af efterisoleringselementer inkl. vinduer. Samtidig vil det være passende at etablere kontrolleret ventilation med varmegenvinding, som udover en betydelig varmebesparelse vil bidrage med yderligere forbedring af indeklimaet. Hvis loftet ikke er blevet efterisoleret er dette naturligvis også et oplagt tiltag, der bør ses i sammenhæng med integration af ventilationskanaler mv.



3.1.3 Koblinger

Der er generelt en god sammenhæng mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer. En betydelig del af koordineringen af relevant forskning varetages af Strategisk forskningscenter for CO2 neutralt byggeri (ZEB), www.zeb.aau.dk, som har til opgave at udvikle integrerede, intelligente teknologier til byggeriet, der sikrer betydelige energibesparelser og optimal anvendelse af vedvarende energi. Centret vil i samarbejde med industrien skabe den nødvendige basis for en langsigtet bæredygtig udvikling i byggesektoren. Centret har i høj grad fokus på udfordringerne i energirenovierung af eksisterende bygninger. I udviklingen af CO2 neutrale bygningskoncepter for nye og eksisterende bygninger lægges der vægt på at finde den optimale balance mellem energibesparelser og vedvarende energiproduktion i bygningen i samspil med energiforsyningssystemet, således at de samlede ressourcer udnyttes bedst muligt.

3.1.4 Behov og muligheder

Byggeerhvervets behov og muligheder vedrørende vidtgående energirenovierung af hele bygninger:

Intelligente lavenergirenoverede bygninger:

I forbindelse med vidtgående energirenovierung, hvor varmetabet sænkes markant, opstår et behov for kontrol af indeklimaet med samtidig optimal udnyttelse af varmetilskud via intelligent styring. Intelligente lavenergirenoverede bygninger er bygninger hvor aktive og passive anlæg for opvarmning, køling, ventilation, solafskærmning, sollysstyring, el-lysstyring samt forsyningsløsninger styres intelligent.

Produktudvikling af system- og pakked løsninger:

Der har været vanskeligt at få gang i vidtgående energirenovierung af eksisterende bygninger, hvor der ligger et stort energisparepotentiale, hvilket primært skyldes at det er for

dyrt/håndværkertungt og besværligt at realisere. Der behov og muligheder for at løse op på begge disse barrierer til gavn for byggeerhvervet og bygningsejerne.

Metoder til langsigtet planlægning af drift, vedligehold og renovering:

Dette omfatter også metoder til vurdering af bygningsdeles levetid. Der er behov for mere langsigtede planer for drift, vedligehold og renovering – herunder også metoder til økonomiberegninger opdelt på vedligehold og energitiltag.

Brugeradfærd:

Brugeradfærden har stor betydning for opnåede energibesparelser/-forbrug og indeklima ved energirenovering. Mere viden om brugeradfærd og udformning af vejledninger mv. til bygningsejere og brugere kan hjælpe byggeerhvervet med at holde hvad de lover mht. effekt af energirenovering, hvilket forretningsmæssigt er særdeles vigtigt.

Forbedring af energitilstandsopgørelse og -vurdering i relation til eksisterende mærkningsordninger:

Integration af eksisterende ordninger; Energimærkning af bygninger, huseftersynsordningen og eftersynsordningerne for kedler, varmeanlæg og ventilationsanlæg

Stimulering af energirenovering via krav i bygningsreglementet:

ESCO's, ændrede tarifstrukturer på energimarkedet, kampagner, videntcentre mv.

3.1.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter. For de mest komplekse problemstillinger/udfordringer er der behov for et bredt samarbejde mellem flere forskningsaktører og mange industripartnere. Et fokusområde vil være udvikling af metoder og værktøjer der kan understøtte et byggerenoveringsprojekt fra koncept til færdigt byggeri.

3.2 Isoleret klimaskærm

3.2.1 Beskrivelse af delområdet

Det basale problem i eksisterende bygninger er dårligt isolerede klimaskærmskonstruktioner, og det gælder især bygninger bygget før 1979, hvor de første væsentlige stramninger af bygningsreglementets isoleringskrav blev indført (BR77, som trådte i kraft primo 1979), hvilket fremgår af de historiske varmeisoleringskrav i Tabel 2.

Tabel 2. Historiske varmeisoleringskrav (U-værdier).

Bygningsreglement (år)	BR61/72	BR77	BR82	BR95	BR08	BR10	BR10 Renov.
Ydervægge, tung	1,00	0,40	0,40	0,30	0,20	0,15	0,20
Ydervægge, let	0,60	0,30	0,30	0,20			
Terrændæk mv. uden gulvvarme	0,45	0,30	0,30	0,20	0,15	0,10	0,12
Terrændæk mv. med gulvvarme					0,12		
Gulv over ventileret kryberum	0,60	0,60	0,30	0,20	0,15	0,10	0,12
Etageadskillelse over det fri	-	0,45	0,20	0,20	0,15	0,10	0,12
Etageadskillelse mod uopvarmet rum	0,60	0,40	0,20	0,40	0,40	0,40	0,40
Loft- og tagkonstruktioner	0,45	0,20	0,20	0,15	0,15	0,10	0,15

U-værdi krav til renovering er i BR10 ikke blevet skærpet i samme omfang som for tilbygninger. Kravene gælder når visse forudsætninger er opfyldt, herunder at de energimæssige investeringer har den fornødne rentabilitet.

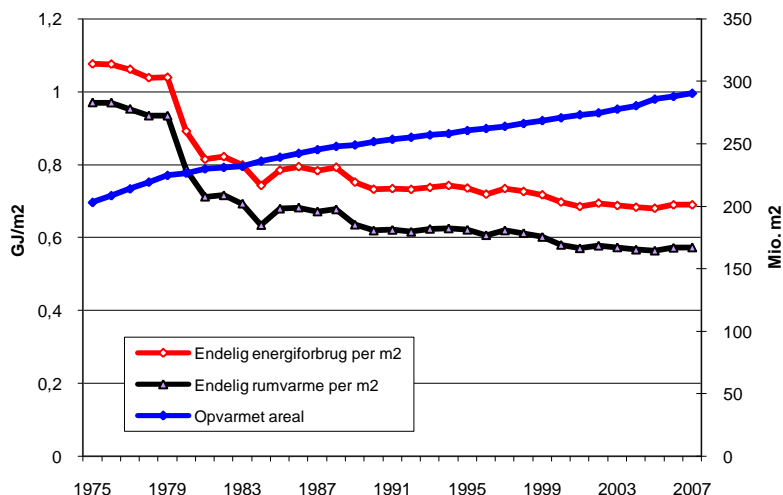
Man kan skønsmæssigt opdele den eksisterende bygningsmasse i følgende hoved segmenter i forhold til andel af den samlede bygningsmasse og isoleringsstandard:

50 % er opført før 1961 og er født med stort set uisolerede klimaskærmskonstruktioner

25 % er opført i 1961–79 og er født let isolerede klimaskærmskonstruktioner

25 % er opført efter 1979 og har en klimaskærm, der er mindst 50 % dårligere isoleret end nybyggeri svarende til BR10

Ser man på udviklingen i boligers energiforbrug siden 1975 er det faldet betydeligt. Faldet er indtruffet, selv om det opvarmede areal i samme periode er vokset med ca. 50 % (se Figur 2). Energiforbruget til rumopvarmning pr. m² er faldet fra ca. 270 til ca. 160 kWh/m², hvilket kan forklares ved forbedring af ældre boligers isolering, især i perioden 1979 til 1984, samt ved udskiftning af gamle oliefyr med mere effektive naturgasfyr og fjernvarmeinstallationer og det faktum at nye boliger i henhold til bygningsreglementet har et lavere energiforbrug pr. m² end eksisterende boliger.



Figur 2. Endeligt energiforbrug til rumopvarmning i boliger i perioden 1975 til 2007 (Kilde: Energistatistik, Energistyrelsen)

Isolerede klimaskærmskonstruktioner i den eksisterende bygningsmasse er de ikke-transparente dele af klimaskærmen og består af følgende bygningsdele, som er beskrevet nedenfor.

Ydervægge og fundamenter

Ydervægskonstruktioner omfatter massive mure, hule mure og mure med bærende bagmur. Traditionelt er en ydervæg en massiv teglstens mur. Typen er stort set enerådende i ældre muret byggeri fra før år 1900. Typiske anvendte murtykkelser er ½, 1, 1½ eller 2 sten afhængig af bæreevnekrav og konstruktive forhold. Fra tidligt i 1900 tallet anbefalede det at man opdelte murværket i to hovedkomponenter; en bærende og en varmeisolerende del. Til den varmeisolerende del blev det foreslået at anvende en række murstensprodukter primært af tegl, som havde en ringere densitet / varmeledningsevne end almindelige fuldbændte teglstens. Det var almindelig byggeskik, at de bedste sten fra brændingen blev brugt i den yderste del af muren, mens de flammede sten blev benyttet i den inderste del af muren. Derfor var det ikke fjernt at kombinere ydervæggen, så den inderste del af muren kunne bestå af lettere stentyper som f.eks. molersten og klinkebetonsten. Disse lette murstentyper kunne ikke anvendes i facaden pga. åbne flader. Massive mure er også mure af mangelhulsten og letbeton (klinkerbeton og porebeton). Der findes en del ”gasbeton” huse fra 60/70’erne. I starten var de pudset udvendigt, men det viste sig senere at pudslaget ikke var strengt nødvendigt, så man undlod pudsen og på det tidspunkt betragtede man det som smukt at lade den rå gasbeton stå frem i facaden.

Hulmuren er traditionelt en betegnelse for en ydervæg med for- og bagmur i tegl og med faste bindere eller trådbindere. Løsningen med faste bindere blev anvendt indtil ca. år 1920, hvorefter hulmure efterhånden blev opført med trådbindere, men fortsat med ommuringer ved vinduer og døre mv. Trådbindere blev først tilladt med særlig dispensation i enetageshuse fra 1921, men man var på landet allerede fra 1870 begyndt at bygge hule mure med trådbindere. I murede etageejendomme var det frem til 1961 kun tilladt at anvende trådbindere i den øverste etage. Derefter blev det almindeligt med hule mure i flere etager. En variant af hulmuren er mure med porebeton i bagmuren, hvor der ikke er store stivhedsforskelle mellem for- og bagmur, således at hele muren bidrager til bæreevnen.

Bærende bagmur er mure med f.eks. bagmur letklinkerbeton og en skalmur af teglsten, eller det kan også være en let ydervæg med indvendigt bærende træskelet og udvendig træbeklædning. Fælles for disse ydervægstyper er at vægdelen på den udvendige side af isolering er så slap at den i praksis ikke bidrager til bæreevnen – i modsætning til en hulmur. Bærende bagmur ses først i byggeri opført efter 1920 og primært efter 1960, hvor enfamiliehuse ofte blev opført med bærende bagmur og evt. lette facadepartier og brystninger.

De oplagte efterisoleringstiltag at udføre på eksisterende ydervægge er udvendig eller indvendig efterisolering af alle tre grupper af ydervægge samt hulmursisolering, hvor det ikke allerede er udført. Der findes velegnede systemløsninger til udvendig efterisolering baseret på mineraluld. Der findes to hovedtyper af løsninger: 1) Skeletkonstruktion udfyldt med isolering samt ventileret pladebeklædning, 2) Fastgørelse af efterisoleringen direkte til den eksisterende konstruktion med uventileret regnskærm (pudsløsning). Indvendig efterisolering er relevant, hvor der findes bevaringsværdige facader, og forudsat at den indvendige del af facaden ikke er bevaringsværdig. Indvendig efterisolering er som udgangspunkt en fugtteknisk problematisk løsning og kan der kan f.eks. ikke umiddelbart etableres et ubrudt isoleringsplan ved etageadskillelser. Indvendig efterisolering udføres typisk som en forsatsvæg opbygget på stedet i form af en skeletkonstruktion med isolering og pladebeklædning, alternativt som præfabrikerede elementer. Alle væsentlige fordele og ulemper ved de to efterisoleringstyper er vist i Tabel 3.

Tabel 3. Fordele og ulemper ved hhv. indvendig og udvendig efterisolering.

Parameter	Indvendig efterisolering	Udvendig efterisolering
Kondens og fugt	Risikabel	Sikker✓
Energieffektivitet	Lav	Høj✓
Varmekapacitet	Mindskes	Uændret✓
Brugere	Generes meget	Generes lidt✓
Indvendigt areal	Mindskes	Uændret✓
Installationer	Skal flyttes	Skal ikke flyttes✓
Udseende	Ændre ikke✓	Ændres – fordel/ulempe
Vinduer og tag	Uændret✓	Tilpasning påkrævet
Bebyggelsesgrad	Uændret✓	Ændres

Udvendig efterisolering er den mest fordelagtige løsning og bør benyttes med mindre facaden er bevaringsværdig. For hule mure kan man foretage hulmursisolering der udføres ved mekanisk indblæsning af isoleringsgranulat. Hulrummet i muren sætter en naturlig begrænsning for mængden af isolering. Som beskrevet findes der varianter af hule mure – mure med faste binderkolonner og mure med trådbindere. Hulmursisolering er generelt ineffektiv pga. kuldebroer hvor for- og bagmur er hæftet sammen, det gælder særligt mure med faste bindere. Hulmursisolering uden anden isolering er utilstrækkelig i forhold til en energimæssig fremtidssikring af bygningen, men hulmursisolering er altid en god ide, da den minimere den samlede konstruktionstykkelser ved en given efterisoleringsstandard.

Isolering af fundamenter er en naturlig del af udvendig efterisolering af ydervægge. Der kan være tale om fundamenter ved terrændæk - murede, beton eller beton med isolerende letklinkerbeton i soklen – eller fundamenter i forbindelse med kælderkonstruktioner. Fundamenter kan umiddelbart efterisoleres udvendigt, hvilket er effektivt, men det bringer ikke linietabet på niveau med nye bygninger, da den lodrette varmestrøm ned gennem eksisterende fundamenter er betydeligt og ikke kan brydes. Isoleres ydervæggene indvendigt, er det svært at udføre en effektiv bygge- og varmeteknisk isoleringsløsning til fundamenterne.

3.2.1.1 Terrændæk

Terrændæk konstruktioner kan opdeles i følgende kategorier:

Terrændæk med strøgulv, herunder gulv mod jord (grus/sten)

Terrændæk med svømmende gulv

Terrændæk ved vådrum

Gulv mod jord (typisk U-værdi på $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) var en udbredt konstruktion i murermeisterhuse opført i perioden år 1850 – 1940.

Efterisolering af terrændæk kan til en vis grad etableres ved udskiftning af strøgulve, hvor der kan udlægges isolering (evt. isolering med bedre isoleringsevne) i hulrummet mellem strøerne. Af fugttekniske årsager (kondensdannelse på fugtspærren/oversiden af betonpladen) kan der være en begrænsning på mængde af isolering. Hvis rumhøjde og placering af dørhuller mv. tillader det, kan gulvniveauet flyttes op og isoleringen kan øges. Det samme gælder ved efterisolering af terrændæk med svømmende gulv konstruktion.

Alternativt kan der efterisoleres nedefra ved ophugning og opbygning af ny isoleret terrændæk konstruktion. Denne metode er den mest omfattende, men effektive efterisoleringsløsning. Der er mange huse fra 1960/70'erne som har terrændæk med tærede vand- og varmerør (og/eller slagter under dækket), hvor det vil være relevant at etablere en ny konstruktion hvor varmerør føres inden for klimaskærmen. Det vil i øvrigt være meget svært at energirenovere disse huse til lavenerginiveau, hvis der ikke pilles ved terrændækket, og det skyldes ikke mindst varmetab fra varmerør indstøbt i terrændækket.

3.2.1.2 Loft- og tagkonstruktioner

Der skelnes mellem:

Bjælkespær konstruktioner ved flade tage.

Gitterspær konstruktioner ved tage med uudnyttet tagrum

Hanebåndsspær konstruktioner ved tage med udnyttet tagrum

Bjælkespær konstruktioner (flade tage) kan efterisoleres i det hulrum, der er til stede i konstruktionen ved at indskydes isoleringsark samt indblæsningsrør oven på den eksisterende isolering. Gennem isoleringsrørene indblæses isoleringsgranulat, der langsomt vil få isoleringsarkene til at løfte sig indtil de rører undersiden af taget. Alternativt kan der efterisoleres udvendigt oven på det eksisterende flade tag.

Gitterspærskonstruktioner kan relativt ukompliceret efterisoleres ved blot at tilføje isolering i loftrummet. Det kan være et problem at etablere en god isolering ved tagfoden, men det er muligt i forbindelse med udskiftning af tagdækningen.

Hanebåndsspær konstruktioner kan efterisoleres i form af hanebåndsløft, skråvægge og skunk. Skråvægisolering kan føres til tagfod, hvorved der etableres en varm skunk, eller skunken kan som oftest mest hensigtsmæssigt efterisoleres indvendigt (lodret og vandret). Skråvæggene kan isoleres svarende til hvad der er plads til i forhold til tagdækningen og behovet for en ventilationsspalte, alternativt kan der merisoleres ved at øge spærhøjden.

3.2.1.3 Krybekældre

Krybekældre med højde under 60 cm, kan som udgangspunkt ikke efterisoleres (det foreskriver arbejdstilsynets bestemmelser). Hvis der er under 60 cm kan der kun laves energitiltag ved at tage gulvet op. Efterisolering er en fugtteknisk vanskelig sag, forbi efterisoleringen ændre fugtforholdene i ugunstig retning, og bør kun udføres efter en nøje vurdering af forholdene. Efterisolering af en krybekælder kan ske efter følgende tre metoder:

Bevaring som kold krybekælder (efterisolering af krybekælderdekke)

Ændring til varm krybekælder (efterisolering af vægge og evt. gulv)

Ændring til terrændæk (god løsning ved ønske om gulvvarme)

Efterisolering af traditionelle, ventilerede krybekældre (kold krybekælder) reducerer varmetabet/-tilskuddet fra den opvarmede del af huset, hvilket medfører at temperaturen falder og den relative luftfugtighed stiger med efterfølgende risiko for skimmelvækst. Efterisolering bør kun ske efter nøje vurdering af ændringerne i fugtforholdene og evt. tiltag til at øge ventilationen. For konstruktioner med lerindskud fjernes denne først, for at muliggøre en udskiftning med isolering. Der opsættes en dampspærre under gulvet og derefter isoleringen mellem bjælkerne. Hvis det er muligt, kan der krydsforskalles og yderligere et lag isolering kan opsættes.

Fugtforholdene kan forbedres i en krybekælder, hvis den efterisoleres på vægge og evt. gulv (varm krybekælder). Ventilationen i kælderen kan derved reduceres. Efterisolering af gulvet besværliggør adgang til krybekælderen.

Ændring af en traditionel kold krybekælder til et højisoleret terrændæk med evt. gulvvarme er ofte den eneste og en ret attraktiv mulighed for en energi- og komfortforbedring. Der kan nemt etableres en god kuldebroisolering og radontætning langs fundamenterne, svarende til retningslinier for nybyggeri.

3.2.1.4 Kældre

Kælder konstruktioner omfatter:

Kælderdekke

Kældergulve

Kældervægge

Efterisolering af kældre, dvs. reduktion af varmetabet, kræver afvejning af brugsværdien mod temperatur- og fugtforholdene i kælderen og komforten i stueetagerne. Kælderen har varmetab og varmetilskud. Det primære varmetilskud til kælderen kommer normalt fra installationerne (rør, varmtvandsbeholder og varmevekslere og kedler), som typisk er med til at opretholde en fornuftig temperatur på trods af at kældre typiske er uopvarmet. Hvis det forudsættes at varmetabet fra installationerne reduceres betydeligt – hvilket er fornuftigt og nødvendigt hvis eksisterende bygninger skal på lavenerginiveau – er det oplagt at efterisolere kælderen (varm kælder), hvorved man slipper for at undersøge konsekvenserne for temperaturen i kælderen og i stueetagerne. Derved får man også nye brugsmuligheder for kælderen

Der kan anvendes to måder at foretage efterisolering på:

Isolering af kælderen (vægge og gulve) med fastholdelse af en rimelig temperatur

Isolering af kælderdekke (evt. også vinduer og døre) med sænkning af temperaturen i kælderen, uden at det forringer komforten i stuelejlighederne

Kælderdekke efterisoleres bedst på undersiden, men det kan være vanskeligt pga. installationer og lofthøjden. Træbjælkelag kan relativt enkelt efterisoleres ved indblæsning af isolering i hulrummene.

Kældergulves efterisolering kan stort set beskrives som terrændæk. En efterisolering oppefra er begrænset af lofthøjden, mens den nedefra (ophugning af dækket og bortskaffelse af underliggende jord) er i praksis formentlig begrænset af fundamentets underside for at sikre stabiliteten af bygningen. Ved efterisolering nedefra kan der etableres en større lofthøjde.

Kælderydervægge efterisoleres bedst udefra, ligesom det er tilfældet med facaden. Man undgår kuldebroer ved indvendige vægge og kældervæggen bliver varmere (mindre kondensrisiko) og fordampningen til kælderen øges, så væggen bliver mere tør. Tiltaget kombineres typisk med en fugttætning af den udvendige overflade samt etablering af omfangsdræn. Indvendig efterisolering af kældervægge under terræn er fugtteknisk set meget problematisk, og frarådes derfor generelt (jf. SBI-anvisning 221: Efterisolering af etageboliger)

3.2.2 Screening (F&U muligheder)

Eksisterende bygninger har stort varmetab fra klimaskærmen og det gælder især fritliggende bygninger som f.eks. etplans parcelhuse. Det er særligt ydervæggene, som er dårligt isolerede. Der findes udmærkede efterisoleringsløsninger, men der er et stort behov for integrerede løsninger, hvor isolering af klimaskærmens enkelte bygningsdele og lufttætning ses under ét for at sikre en effektiv og sammenhængende isolering uden kuldebroer og et minimalt infiltrationstab. Et lille infiltrationstab er en forudsætning for at luftskiftet kan kontrolleres og dermed en forudsætning for effektiv anvendelse af ventilation med varmegenvinding.

Efterisolering og lufttætning af klimaskærmen nedsætter varmebehovet betydeligt, hvilket vil være afgørende for valg af varmekilde og dimensioner på varmeanlægget i forbindelse med renovering af varmeinstallationer. Efterisolering og lufttætning bidrager desuden væsentligt til et bedre indeklima i form af ingen kold træk og skimmelsvamp, mindre støj udefra mv., og forbedrer husets vedligeholdelsestilstand og øger dets handelsværdi.

Arkitekturaspæktet vigtigt og nye facader ikke er højt prioriteret sammenlignet med f.eks. nyt bad og køkken (SBI 2000). Den viser at hun en tredjedel af dem der bor i f.eks. 1960'ers parcelhuse mener, at deres eget hus er smukt, hvilket indikerer et relativt stort potentiale for udvendig klimaskærmsrenovering. Den viser også at man inspireres af at se på, hvordan andre med tilsvarende huse har løst renoveringsopgaven, og på den måde kan der opstå "modebølger" for, hvordan udvendige klimaskærmsrenoveringer kan udføres inden for et parcelhuskvarter.

Der er foretaget en screening af F&U muligheder for typiske klimaskærmsrenoveringstiltag i form af SWOT analyser.

Udvendig facadeisolering

Styrker: Energieffektiv - ca. 30% mere effektiv end indvendig isolering, Bedre komfort og indeklima (bryder kuldebroer, jævn/højere overfladetemperatur), Holder eksisterende mur varm og tør, Få gener for brugerne af bygningen under renoveringsarbejdet

Svagheder: Påvirker bygningens udseende, problematisk ved bevaringsværdige facader, men nok kun få facader der virkelig er bevaringsværdige!, Byggelinjer og skelgrænser kan overskrides hvis ikke eksisterende vinduer samtidigt skiftes/flyttes, så betydelige varmetekniske og arkitektoniske konsekvenser.

Muligheder: Efterisolering baseret på kombination af traditionel isolering og højisolerede materialer til hvor det er vanskeligt at anvende de traditionelle materialer - med henblik på at opnå samme højisolerede ydervægge som i nye bygninger. Opgradering af bygning/moderne udseende med signalværdi for især erhvervsejendomme

Trusler: Kan være en dyr løsning sammenlignet med indvendig isolering
Arkitektoniske ”skader”, men er i betydelig grad sikret via klausuler i lokalplaner, fredningsklasse systemer og lignende, Udenlandske efterisoleringssystemer med tykke isoleringslag (>20 cm) og pudsløsning. BR betragter udvendig efterisolering af småhuse udover 25 cm som en udvidelse af arealet

Indvendig facadeisolering

Styrker: Bevarer bygningens udseende. Udførelsen foregår indefra og er derfor uafhængig af vejrliget. Ikke nødvendig at flytte/udskifte vinduer og døre - rude eller forsatsvindue kan evt. skiftes til mere energirigtig løsning

Svagheder: Etagedæk og andre gennembrydninger vil udgøre betydelige kuldebroer
Behov for efterisolering i vinduesnichen (kuldebro) – dagslysproblem med mindre der benyttes tynde højisolerede materialer. Fugtteknisk problematisk – kræver tætte tilslutninger til andre bygningsdele mv. Det indvendige areal mindskes. Tiltaget har betydelige gener for bygningens brugere under udførelsen. Diverse installationer (el, varme mv.) samt stuk kan det være nødvendigt at flytte. Ny væg vil/kan have reduceret mekanisk styrke til ophængning af tunge genstande.

Muligheder: Højisolerede samt holdbare samlede løsninger til indvendig isolering.
Indvendig isolering hvor ”superisolering” kombineres med traditionel isolering. Konkrete løsninger på særlige problemområder, f.eks. bjælkeender i bygninger med træbjælkelag

Trusler: Mangel på tætte tilslutninger til omgivende bygningsdele. Mangel på analyser af konstruktionerne og fugtforholdene i ældre etageejendomme med bærende træbjælkelag

Hulmursisolering

Styrker: Kan udføres uden gene for bygningens beboere. Ydervæggens udseende ændres ikke - hverken indvendigt eller udvendigt. Et meget billigt og rentabelt tiltag (men bringer slet ikke varmetabet ned på lavenerginiveau). Påvirker hverken bygningsareal eller gulvareal. Muligt tiltag hvor hverken udvendig eller indvendig efterisolering er muligt. Kan kombineres med enten indvendig eller udvendig efterisolering, hvilket betyder at den samlede vægtykkelse i mange tilfælde kan mindskes i forhold til efterisolering af massive mure.

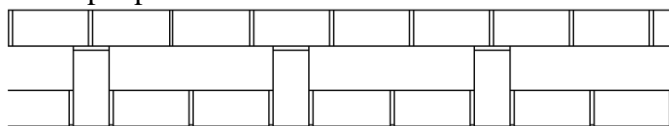
Svagheder: Det eksisterende hulrum sætter en naturlig grænse for mængden af isolering og isoleringseffekten er begrænset på grund af tråd eller faste bindere og sammenmuringer ved

samlinger omkring vinduer og døre mv. For eksempel reduceres U-værdien for en 1½ sten isoleret hulmur med faste bindere pr. 60 cm fra 1,5 til kun ca. 0,7 W/m²K.

Muligheder: Mere præcise metoder til konstatering af isoleringsniveauet i eksisterende hulmure; isoleret/ikke isoleret, omfang af kuldebroer (bindere, ommuringer mv.) og isoleringsevne (f.eks. hvor er der sammenfald af gammel hulumursisolering)

Trusler: I forhold til sikring af et fremtidssikret isoleringsniveau med udvendig eller indvendig isolering: At der alene udføres hulumursisolering ud fra en opfattelse af at så er ydervæggen efterisoleret for fremtiden!

Eksempel på hulmur med faste bindere:



Fundamenter

Styrker: Efterisolering af fundamenter mindsker effektivt fundamentslinietabet. Skaber mindre træk ved gulv.

Svagheder: Udgravning til fundamentsisolering er dyrt og kan medføre sætningsskader. Effekten på linietabet afhænger af isoleringsniveauet i ydervæg og terrændæk

Muligheder: Sammenkoble efterisolering af fundamenter med efterisolering af gulvkonstruktionen og dermed lavt linietab og komfortforbedring til følge.

Trusler:

Terrændæk med strøgulv

Styrker: Kræver intet større indgreb i den eksisterende konstruktion. Er nemt at udføre hvis gulvbelægningen alligevel skal udskiftes. Et billigt tiltag.

Svagheder: Begrænset plads til efterisolering uden gulvhøjden øges. Hvis gulvhøjden øges skal der tages højde for rumhøjde, dørtrin mv. Svært at opnå stor forbedring mht. fodkulde og træk pga. kuldebroer.

Muligheder: Anvende mere energieffektive isoleringsmaterialer til den begrænsede plads.

Trusler: Efterisolering mellem strøer har begrænset energisparepotentiale.

Terrændæk ved ophugning og nyetablering

Styrker: Energieffektiv – ny højisolert konstruktion kan udføres og varmetab fra indstøbte varmerør elimineres. Forbedrer indeklimaet væsentligt mht. fodkulde og træk. Isoleringsniveauet kan øges uden væsentlige følgevirkninger. Fremtidssikret løsning - hele konstruktionen udskiftes og eventuelle installationer omlægges.

Svagheder: Et meget omfattende dyrt/ tiltag, der i noget omfang kræver at beboerne fraflytter under renoveringen. Et meget dyrt tiltag.

Muligheder: Etablering af gulvvarme til udnyttelse af opvarmning med lavtemperatur og VE

Trusler: Dyrt tiltag – umiddelbart kun relevant hvis terrændækket alligevel skal renoveres på grund af f.eks. lækage fra nedslidte varmerør.

Fladt tage af bjælkespær konstruktioner (udvendig efterisolering)

Styrker: Kræver ingen større indgreb i den eksisterende konstruktion
Forholdsvist billigt og rentabelt tiltag

Svagheder: Efterisolering af koldt tag (ventileret) skal som håndregel overholde fugtteknisk regel om at der skal lægges mindst lige så meget isolering ovenpå, som der er inde i taget – i praksis ikke et problem i forhold til lavenergirenovering

Muligheder: Kombinere efterisoleringen med vedvarende energi i form af evt. solceller, solpaneler eller lign.

Trusler: -

Gitterspær konstruktioner med uudnyttet tagrum

Styrker: Hvis tagbeklædningen står for udskiftning, er det ikke til gene også at øge isoleringsniveauet. Da der er tale om uudnyttet loftsrum, er det relativt uproblematisk at øge isoleringsniveauet. Tiltaget er simpelt og nemmere at udføre i forbindelse med skift af tagbeklædning.

Svagheder: Det kan være svært at etablere en god isolering/overgang ved tagfod medmindre taget hæves

Muligheder: Indblæsningsmetode der samtidigt fastholder isoleringen, således at det er muligt at tage tagbeklædningen af uafhængigt af isoleringstidspunktet. Indblæsningsmetoden skal mindske unødige kuldebroer der ofte opstår i praksis, når den korrekte tilskåret isolering ikke anvendes.

Trusler: -

Hanebåndsspær konstruktioner med udnyttet tagrum

Styrker: Det er relativt nemt at efterisolere til høj standard undtagen ved skråvægge – tilsætning til spær i forbindelse med ny tagdækning kan dog give plads til mere isolering.

Svagheder: Pladsforholdene ved skråvægge, hvor der også skal være plads til en ventileret luftspalte.

Muligheder: Anvendelse af superisolering indvendig på skråvægge – kan etableres relativt ubeskyttet pga. skrå flade

Trusler: -

Kældre

Uopvarmede krybekældre og kældre kan relativt nemt efterisoleres i etageadskillelsen mod den opvarmede del af bygningen forudsat at højden er tilstrækkelig. Dette vil forbedre komforten i stueetagen, som følge af et varmere gulv. Installationer kan besværliggøre efterisoleringen. En oplagt mulighed for krybekældre er at konvertere til højisoleret terrændæk med lavtemperatur gulvvarme. En vidtgående mulighed er at konvertere til varm kælder med deraf forbedrede anvendelsesmuligheder. Radon og fugt problematikker taler imod konvertering til varm kælder.

3.2.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Byggeerhvervets udfordring i fremtiden bliver at kunne levere billige, energieffektive og holdbare efterisoleringsløsninger til eksisterende bygninger. Der har tidligere ikke været gennemført så mange F&U projekter mv. med fokus eller delfokus på optimale systemer til tillægsisolering af eksisterende bygninger. Af væsentlige projekter kan nævnes:

Klimaskærm 2030 (EFP 1999)

Klimaskærm til fremtidens nybyggeri og energirenovering (EFP 1999-00)

Forslag til nye energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm (EBST 2008)

Energirenovering af typiske bygninger - eksempelsamling (EUDP 2009-10)

Forskning og innovation vedr. efterisoleringssystemer til eksisterende bygninger foregår i udstrakt grad hos de større byggevareproducenter, hvor der er en tendens til en mere proaktiv og udbudsorienteret holdning i forhold til kunderne. Dette er positivt i forhold til markedet for tillægsisolering, som kræver en særlig indsats i forhold til synliggørelse af den "rigtige" økonomi i forbindelse med renovering - hvor energibesparelser naturligvis ikke skal betale for vedligeholdelse og udskiftning af udslidte bygningsdele - og muligheden for nye facader, arkitektur og ikke mindst et bedre indeklima og bedre holdbarhed af klimaskærmskonstruktionerne.

Det basale problem i eksisterende bygninger er dårligt isolerede klimaskærmskonstruktioner, jf. f.eks. Klima- og Energiministeriets nye boligside: www.energisparebolig.dk, og det gælder især boliger bygget før 1979, hvor de første væsentlige stramninger af bygningsreglementets isoleringskrav blev indført. Efterisolering og lufttætning af klimaskærmen nedsætter varmebehovet betydeligt, hvilket vil være afgørende for valg af varmekilde og dimensioner på varmeanlægget i forbindelse med renovering af varmeinstallationer. Et lille infiltrationstab er en forudsætning for at luftskiftet kan kontrolleres og dermed en forudsætning for effektiv anvendelse af ventilation med varmegenvinding.

Byggeerhvervets udfordring i fremtiden bliver at tilbyde samlede efterisolerings- og tætningsløsninger til hele bygninger af forskellig alder og type, som skal ses i sammenhæng med efterisolering og udskiftning af vinduer og døre. Kun ved forskning og udvikling i systemløsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsisolering kan byggeerhvervet levere markante og økonomisk attraktive energiforbedringer til bygningsejere generelt og især private husejere, hvilket vil være påkrævet og fornuftigt på længere sigt.

3.2.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

I forhold til byggeerhvervets teknologiske udfordringer er der et stort behov for forskning og udvikling og demonstration af konkrete vidtgående efterisoleringssystemløsninger til realisering af de mange rentable energibesparelser på klimaskærmsområdet. Der er blandt andet et generelt behov for viden omkring hvordan man ved efterisolering sikrer et minimum af kuldebroer ved samlinger mellem flere bygningskomponenter.

Arbejdet med udvikling af basale klimaskærmsløsninger til vidtgående energirenovering bør have fokus på følgende områder:

Løsninger til energimæssigt vidtgående klimaskærmsrenovering baseret på udvendig facadeisolering, der er tilpasset de enkelte bygningstyper og med kombinerede efterisolerings-

og tætningsløsninger med fokus på minimering af kuldebroer og lufttætheder vedr. flader, samlinger og installationer. Fokus på systemløsninger med større grad af præfabrikation og bygningsintegreret energiproduktion samt håndtering af lovgivningsmæssige barrierer, fx arealkrav, lokalplaner, beskatning

Løsninger til indvendig ydervægisolering tilpasset de enkelte bygningstyper, som generelt er fugtteknisk problematik mv., hvilket især gælder ældre etageboliger med træbjælkelag. Disse bygninger har også dybe vinduesnicher med stort varmetab, hvor der kræves spinkle efterisoleringsløsninger (f.eks. vakuum isolering) for at undgå kuldebroer og forringet dagslys.

Efterisoleringsløsninger til terrændæk konstruktioner, herunder økonomisk overkommelige metoder til ophugning og nyetablering af højisolert terrændæk med gulvvarme i f.eks. typiske parcelhuse fra 60'70'erne (500.000 huse opført i denne periode).

Løsninger til højisolering af tag- og loftkonstruktioner med større brugsværdi og dagslyselementer som f.eks. tagvinduer, ovenlys og lyskanaler i forbindelse med: 1) Skift af tagdækning, 2) Skift af tagkonstruktion (f.eks. præfab elementer i form af kviste).

Efterisoleringsløsninger til fundamenter, hvor små linietaf på niveau med nybyggeri er svært opnåeligt på grund af bærende dele der gennembyder isoleringen.

Løsninger til efterisolering af kælderkonstruktioner og installationer, herunder analyser af fugt- og brugsmæssige konsekvenser.

3.2.5 Fokusområder

Fokusområder for forskningsinstitutioner i netværket er baseret på tidligere og igangværende F&U projekter.

3.3 Energivinduer

3.3.1 Beskrivelse af delområdet

Energivinduer er vinduer opbygget med energibesparende elementer, som f.eks. energirude eller forsatsenergiglas, velisoleret rudekantkonstruktion, velisoleret ramme-karmkonstruktion og en reduceret/optimal bredde af ramme-/karmkonstruktionen. Energivinduer er et afgørende energibesparende element ved renovering og vinduesudskiftning i eksisterende bygninger. Man kan også tale om plusenergivinduer eller bare plusvinduer. Plusvinduer betegner vinduer med de bedste energimæssige egenskaber, som har et positivt energitilskud set over fyringssæsonen.

Muligheden for anvendelse af energivinduer i eksisterende bygninger er blevet væsentligt forbedret over de sidste 5 år, da der sket en næsten total udfasning af salg af almindelige termoruder til energiruder. Udviklingen blev iværksat efter frivillig aftale mellem glasindustrien og energistyrelsen i 2004 og har altså været en stor succes.

Eksisterende bygninger har generelt vinduer med dårlige energimæssige egenskaber. Der kan opnås en væsentlig forbedring i form af f.eks. nye vinduer, der opfylder minimumskrav i bygningsreglementet. Der findes kun enkelte bedre produkter på markedet, så i relation til at gennemføre en lavenergirenovering af bygningsmassen og dermed en energimæssig fremtidssikring af bygninger er der behov/muligheder for udvikling af vinduer med bedre energimæssige egenskaber mv.

Energirenovering af vinduer i eksisterende bygninger omfatter:

- Rudeudskiftning
- Vinduesudskiftning
- Forsatsvinduer
- Ovenlysvinduer og ovenlyskupler
- Ventilationsvinduer
- Solafskærmning

Rudeudskiftning: Kan være relevant og markant energibesparende hvis eksisterende ruder er almindelige termoruder og ramme-karm konstruktionerne er i fin stand. Indbygning af nye energiruder i eksisterende rammer og karme kræver typisk tilpasninger af forskellig art.

Vinduesudskiftning: Om vinduer bør renoveres eller udskiftes til nye afhænger i høj grad af kvaliteten af de eksisterende vinduer, og om der er tale om bevaringsværdige vinduer i forhold til bygningens arkitektoniske udtryk. F.eks. kan vinduer fra 1960/70'erne, eventuelt med ældre energirude (monteret i 1990'erne), typisk være modne for udskiftning til nye energivinduer.

Forsatsvinduer: Forsatsvindue anvendes typisk på bevaringsværdige ældre trævinduer af god kvalitet med ét lag klart glas og evt. et forsatsvindue med ét lag klart glas. Hvis vinduet er i dårlig stand, men stadig bevaringsværdigt, bør det istandsættes og efterisoleres, frem for at det udskiftes. Derved kan også spares eventuelle omkostninger i form af efter reparationer mht. tilpasning af skævheder eller til indvendige snedkerarbejder, f.eks. lysnings- og brystpaneler.

Ovenlysvinduer og ovenlyskupler: Er vigtige elementer i renovering af eksisterende bygninger, som bidrager positivt med lysindfald og varmetilskud om vinteren, samt god mulighed for naturlig ventilation til køling og ventilation i sommerperioden.

Ventilationsvinduer: Ventilationsvinduet er en genopdaget gammel teknologi, som kan være relevant i huse som er tætnet gennem vinduesudskiftning mv. Ventilationsvinduer (eller russervindue, 3G vindue mv.) er en dobbeltfacade i miniudgave. De udformes som et traditionelt forsatsvindue, hvor hulrummet i fyringssæsonen benyttes til at forvarmning af frisk udeluft via åbning i underkarmen og en selvvirkende ventil i overkarmen, som regulerer luftmængden. Forvarmningen sker dels ved varmetabet gennem vinduet og dels ved opvarmning af solen. Ventilationsvinduer produceres i to hovedtyper, enten som et oprindeligt gammelt vindue med forsatsvinduer eller som et moderne koblet vindue.

Solafskærmning: Solafskærmning benyttes primært til at reducere solindfaldet gennem og blændingen fra vinduer i dagtimerne. Solafskærmninger kan f.eks. være faste elementer (f.eks. tagudhæng), solafskærmende glas eller selvstændige mekaniske elementer med varierende soltransmittans (f.eks. persiener, rullegardiner mv.). Energirenovering af eksisterende bygninger til lavenerginiveau vil mindske varmetabet markant og vil dermed alt andet lige øge perioder med overophedning og kølebehov. Det gælder især i kontorbygninger. Der er ikke tradition for at anvende effektive solafskærmningsløsninger i boliger slet ikke i eksisterende boliger, men i fremtidens lavenergirenoverede boliger risikerer man dårlige indeklimaforhold, hvis ikke effektive solafskærmninger tages i betragtning.


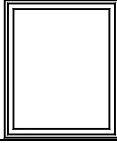
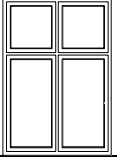
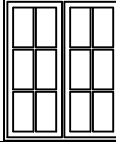
De energimæssige egenskaber for vinduer afhænger både af varmetabet ud gennem vinduet og solenergitilskuddet ind gennem vinduet. Forskellen mellem tilskud og tab udgør vinduets energitilskud (energibalace). I forbindelse med energimærkningsordningen for ruder er der udviklet en formel til beregning af vinduer og ruders energitilskud baseret på energitilskuddet til et referencehus, der svarer til et typisk dansk parcelhus. Energitilskud for facadevinduer beregnes efter følgende formel:

$$E_{\text{ref}} = 196 \cdot g_w - 90 \cdot U_w \quad (\text{kWh/m}^2 \text{ pr. år})$$

Hvor g_w er solenergitransmittansen for hele vinduet ($g_w = g_g \cdot \text{glasandel}$) og U_w er U-værdien for hele vinduet. Definitionen på et plusvindue er at det som 1 fags vindue i standard størrelse (1,23 x 1,48 m) har et positivt energitilskud, dvs. $E_{\text{ref}} > 0$.

Typiske vinduer i den eksisterende bygningsmasse og deres energimæssige egenskaber fremgår af Tabel 4. På årsbasis har vinduerne et relativt stort negativt energitilskud (netto varmetab).

Tabel 4. Typiske vinduer i den eksisterende bygningsmasse og deres energimæssige egenskaber. 1+1 lag glas svarer til vinduer med koblede rammer eller forsatsvindue.

	Opbygning	U_w [W/m ² K]	g_g [-]	Glasandel [-]	g_w [-]	Energitisud [kWh/m ² /år]
Fast vindue 1,2 x 1,2 m, 1 rude 	1-lag glas	5,1	0,85	0,80	0,68	-327
	1+1 lag glas	2,6	0,75	0,80	0,60	-117
	Termorude	2,9	0,75	0,80	0,60	-144
Oplukkeligt vindue 1,2 x 1,2 m, 1 rude 	1-lag glas	4,7	0,85	0,70	0,60	-308
	1+1 lag glas	2,4	0,75	0,70	0,53	-114
	Termorude	2,8	0,75	0,70	0,53	-150
Dannebrogsvindue. 1,2 x 1,8 m, 2 fag, 4 ruder 	1-lag glas	4,2	0,85	0,60	0,51	-279
	1+1 lag glas	2,3	0,75	0,60	0,45	-119
	Termorude	2,7	0,75	0,60	0,45	-156
Bondehusvindue. 1,2 x 1,2 m, 2 fag, 12 ruder 	1-lag glas	3,9	0,85	0,50	0,43	-269
	1+1 lag glas	2,2	0,75	0,50	0,38	-125
	Termorude	2,8	0,75	50	0,38	-179

3.3.2 Screening (F&U muligheder)

De bedste nye vinduer på markedet er som nævnt såkaldte plusvinduer. De nyeste plusvinduer på markedet har et energitilskud på 0 - 10 kWh/m². Se dem på sitet "Viden Om Vinduer": <http://www.byg.dtu.dk/upload/centre/bfi/vinduer/plusvinduer.html>. I Tabel 5 er vist eksempler på muligheder for vinduer med bedre energimæssige egenskaber i forbindelse med energirenovering.

Er der ikke tale om udskiftning af det eksisterende vindue med et nyt, men kun at ruden udskiftes med en f.eks. en 3-lags energirude, kan der omtrent energirenoveres til plusvindue niveau. Er vinduer bevaringsværdige (f.eks. ældre Dannebrogsvinduer) kan de udstyres med en forsatsramme med energiglas, hvorved der kan opnås samme eller lidt bedre energimæssige egenskaber sammenlignet med et tilsvarende nyt vindue med 2-lags energirude. En 1+2 koblet løsning med en 2-lags energirude indvendigt forbedrer energitilskuddet. Hvis 1+2 løsningen beregnes som et ét-fags vindue uden poster og sprosser og i standardmål, er det tæt på at være et PlusVindue (energitilskud på -7 kWh/m²/år), hvis der anvendes en energirude med varme kant og optimeret glasafstand (16 mm).

Da der omtrent er balance mellem varmetilskud og varmetab for de bedste nye 1-fags vinduer på markedet, kan energibesparelsen direkte aflæses af energitilskuddet i Tabel 4.

Man kan for eksempel se at man kan spare ca. 300 kWh/m² pr. år ved at energiforbedre de dårligste vinduer med ét lag glas med de bedste lavenergiløsninger på markedet, men besparelsen er henholdsvis ca. 150 og 50 kWh/m², hvis udgangspunkt er gamle vinduer med almindelig termorude eller energirude.

I BR10 er indført følgende krav til energitilskuddet i forbindelse med bygningsrenovering og udskiftning:

Facadevinduer: $E_{\text{ref}} \geq -33 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ ($E_{\text{ref}} = 196,4 \times g_w - 90,36 \times U_w$)

Ovenlysvinduer: $E_{\text{ref}} \geq -10 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ ($E_{\text{ref}} = 345 \times g_w - 90,36 \times U_w$)

Forsatsvinduer og ovenlyskupler: $U_w \leq 1,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ (inkl. karm)

Almindelige facadevinduer med 2-lags energirude forbedres derfor en smule ift. Tabel 5.

Tabel 5. Eksempler på muligheder for vinduer med bedre energimæssige egenskaber med udgangspunkt i to forskellige vinduestyper med forskellige rudesystemer. (GRP = glasfiberarmeret polyester).

	U_w [W/m ² K]	g_w [-]	Energitilskud [kWh/m ² /år]
1-fags opluk. vindue i standardmål (1,23 x 1,48 m)			
Trævindue m. 2-lags energirude	1,35	0,46	-33
PVC vindue m. 2-lags energirude	1,45	0,43	-46
Alu vindue m. 2-lags energirude	1,66	0,52	-47
Træ/alu/PVC m. 2-lags energirude	1,58	0,53	-39
GRP m. 2-lags energirude	1,35	0,53	-18
GRP m. 3-lags energirude	0,76	0,38	7
Nulenergivindue, DTU	1,23	0,57	0
2-fags Dannebrogsvindue (1,2 x 1,8 m)			
Opr. vindue og forsatsramme m. energiglas (1+1 løsning)	1,7	0,44	-66
Opr. vindue og 2-lags forsatsenergirude (1+2 løsning)	1,3	0,33	-51
Nyt trævindue med 2-lags energirude.	1,6	0,34	-77
Nyt trævindue med 2-lags energirude og varm kant	1,5	0,34	-68
Nyt alubeklædt træ-alu vindue med 2-lags energirude	1,7	0,34	-86
2-fags Dannebrogsvindue beregnet som 1 fag og i standardmål (1,23x1,48m)			
Opr. vindue og 2-lags forsatsenergirude (1+2 løsning)	1,0	0,44	-7

Kan man energirenovere til lavenergyniveau (f.eks. lavenergiklasse 1) uden plusvinduer? Der er foretaget beregninger af hvilke muligheder plusvinduer giver for opfyldelse af lavenergiklasse 1 krav i forbindelse med renovering af et typisk parcelhus (længehus) fra 1960/70'erne på 135 m².

Nedenfor er der kortfattet redegjort for beregningsforudsætningerne:

- Energiforbrug og indeklima er beregnet med programmet WinDesign (timeberegninger)
- Vinduer udgør 22% af opvarmet etageareal - glasandel for hus under ét er 61%
- Reference vinduer: Trævinduer og døre med 2-lags energirude (-47 kWh/m²)

- Plusvinduer: 3-lags energirude (samme glasandel), $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (0 kWh/m²)
- Klimaskærmens transmissionstab (ekskl. vinduer): UA-værdi: 100 / 75 / 50 W/K
- Mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding, $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$; VGV effektivitet: 80% Infiltration: $0,1 \text{ h}^{-1}$; Udluftning: $1,66 \text{ h}^{-1}$ (=standard Be06 forudsætning = $0,9 \text{ l/s/m}^2$)
- Setpunkttemperaturer (som i Be06): Varme: 20°C; Køling: 25°C; Udluftning: 23°C
- Energibehov til varmt brugsvand, pumper og ventilatorer:
- Energibehov til varmt brugsvand: 250 liter/m² opvarmet fra 10 til 55°C (Be06) i alt 13 kWh/m²
- Pumper, ventilator og automatik: Lille sparepumpe, SEL-værdi på 800 kJ/m³ i alt 6 kWh/m² (inkl. faktor 2.5)
- Øvrigt energibehov uden solvarme: 19,0 kWh/m²
- Øvrigt energibehov med solvarme (65% dækning): 10,6 kWh/m²

Følgende energirenoveringsscenarier er undersøgt:

REF-100: BR08 efterisoleringsniveau; Referencevinduer; Efterisolering af øvrig klimaskærm til $UA = 100 \text{ W/K}$; Etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding; Lufttætning svarende til "tæt hus" (infiltration $0,1 \text{ h}^{-1}$)

PLUS-75: Plusvinduer og velisoleret øvrig klimaskærm ($UA=75 \text{ W/K}$)

PLUS-50: Plusvinduer og højisoleret øvrig klimaskærm ($UA=50 \text{ W/K}$)

PLUS-75-S: PlusVinduer, velisoleret øvrig klimaskærm og solvarme til VBV

REF-50-S: Referencevinduer, højisoleret øvrig klimaskærm og solvarme til VBV

PLUS-50-S Ingen VGV: Højisoleret klimaskærm og solvarme, men ingen VGV

Resultaterne af beregningerne fremgår af Tabel 6. Beregningerne indikerer at forudsat en god isoleringsstandard af ydervægge, gulv og loft, så muliggør plusvinduer opfyldelse af lavenergiklasse 1 uden solvarme på varmt brugsvand. Med både plusvinduer og solvarme er det næsten muligt at opfylde lavenergiklasse 1 uden brug af mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Tabel 6. Beregnede energibehov (kWh/m²/år) for forskellige energirenoveringsscenarier.

Scenarie	REF-100	PLUS-75	PLUS-50	PLUS-75-S	REF-50-S	PLUS-50-S Ingen vgv
Rumvarme	58,0	34,5	20,8	34,5	29,8	36,1
Køling	1,7	1,2	1,6	1,2	2,5	1,7
Øvrigt energibehov	19,0	19,0	19,0	10,6	10,6	10,6
Energibehov i alt	78,8	54,8	41,4	46,4	42,9	48,4
Energiramme, kl.1	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1
Energitilskud, vinduer	-47	0	0	0	-47	0
UA-værdi (ex vinduer)	100	75	50	75	50	50

Nedenfor er der foretaget SWOT analyser af de forskellige energirenoveringstiltag på vinduesområdet.

Rudeudskiftning

Styrker: I vinduer der ellers er i god stand er udskiftning af gamle forseglede termorude til energiruder et oplagt og billigt tiltag, der har stor energispareeffekt (min. ca. 100 kWh pr. m² rude pr. år).

Svagheder: Mange vinduer fra perioden fra starten af 1960'erne til midt i 1990'erne er fremstillet af træ i dårlig kvalitet/ringe holdbarhed, hvorved en total udskiftning til nye vinduer af bedre kvalitet og med energiruder ofte er mest hensigtsmæssigt.

Muligheder: Udvikling af bedre metoder til vurdering af holdbarhed af vinduer og rudemontering i disse, idet det afgørende kriterium for rudeudskiftning må være at restlevetiden blot skal være større end rudens levetid. Udvikling af bedre glastyper, jf. ovenfor under vinduesudskiftning

Trusler: Det er svært umiddelbart at sikre en energimæssig fremtidssikring af vinduer, når kun rude-delen skiftes, idet ramme-karm delen ikke umiddelbart kan efterisoleres. Hvis ydervæggen samtidig efterisoleres kan der dog laves en efterisolering i form af en forskudt fals løsning.

Udskiftning af facadevinduer

Styrker: De nyeste energibesparende produkter kan implementeres

De bedste rudetyper (f.eks. 3-lags) kan nemt anvendes – kan være svært ift. eksisterende ramme-karmkonstruktioner ved rudeudskiftning

Sammenbygning med eksisterende væg kan foretages hensigtsmæssigt/optimalt og især i forbindelse med efterisolering

Svagheder: Fristende at plukke de lavest hængende frugter (pga. stort energisparepotentiale) – vidtgående løsninger for en energimæssig fremtidssikring er der behov for.

At vinduesudskiftning ikke ses i sammenhæng med efterisolering af ydervæggen, hvilket kan resultere i betydelige ”spildte” udgifter til f.eks. indvendige arbejder vedr. lysnings- og brystningspaneler.

Muligheder: Ramme-karmprofiler med bedre energimæssige egenskaber i form af bedre isolerende og smallere profiler gennem materialer med bedre termiske egenskaber og styrkemæssige egenskaber til reducere af profilbredde mv. Ramme-karm udgør 20-40% af vinduesarealet og har derfor stor betydning for varmetabet.

Udvikling af bedre glastyper med lav emissivitet og høj soltransmittans til boliger og solafskærmende glastyper med lav emissivitet og høj sollystransmittans til kontorbyggeri, f.eks. bedre lavemissionsbelægninger (udviklingspotentialer er dog ved at være udtømt), jernfattigere glas, antirefleksbehandling mv.

Aerogel ruder, vakuumruder og såkaldte smarte ruder (kendes fra soltag i dyre biler) er særlige teknologier, der har mere langsigtede forskningsmæssige potentialer, Vinduer med dynamiske energimæssige egenskaber – aktive elementer der tilpasser egenskaber til aktuelle driftsforhold

Trusler: Lavenergivinduer fra udlandet – men efterlever ofte ikke danske krav til design, funktion og indbygning, lavenergivinduer kan give problemer med udvendig kondens, lavenergivinduer i lavenergibygninger kan give problemer med overophedning

Etablering af forsatsvinduer

Styrker: ”Løsningen” til bevaringsværdige vinduer, der energimæssigt er omtrent på niveau med almindelig vinduesudskiftning. Kuldebroer fra afstandsskinne undgås, sammenlignet med forseglede ruder. Sprosser bevares i deres oprindelige slanke dimensioner → større rudeareal end for forseglede ruder - som typisk kræver bredere profiler - og derfor opnås højere solenergi- og lystransmittans. Den hårde lavemissionsbelægning der anvendes i typiske

forsatsløsninger har en højere solenergitransmittans end blød lavemissionsbelægning, som anvendes i forseglede rude → energitilskud for forsatsløsning er ca. lige så stort som for samme vindue med energirude. Forsatsvinduesløsningen har meget lang levetid sammenlignet med forseglede ruder, hvis det vedligeholdes fornuftigt, idet ruden ikke kan punktere

Svagheder: Større vedligeholdelse i form af rengøring af flere glasflader. Montering af et forsatsvindue med energirude reducerer varmetabet betydeligt, men solenergi- og lystransmissionen og levetiden forkortes pga. den forseglede rude. Forsatsløsningen optager mere plads i vindueshullet end et nyt vindue med energirude.

Muligheder: Udvikling af f.eks. 1+1+1 løsninger med indbygget solafskærmning og isolerende natgardin for reduktion af varmetabet om natten, hvor det er koldest.

Trusler: Manglende energimæssigt bedre løsninger til renovering til lavenerginiveau kan betyde at bevaringsværdige vinduer udskiftes med nye med bedre egenskaber

Etablering/udskiftning af ovenlysvinduer og ovenlyskupler

Styrker: Bedre lysgiver sammenlignet med facadevinduer. Nyetablering uden energitab og udskiftning med stor energibesparende effekt. Afskærmning kan minimere varmeudstråling om natten i vinterhalvåret.

Svagheder: Bør udstyres med afskærmning for at begrænse overophedning i sommerhalvåret, men kan også udnyttes positivt til reduktion af varmetab om natten (jf. ovenfor). Tæt sammenbygning med tagkonstruktion.

Muligheder: Afgørende element for bygningsejere ved beslutning af renovering i form af bedre lys og brugerkomfort i bygninger med eksisterende dybe rum eller mørke tagetager.

Trusler: Synlig tilføjelse til tagfladen. Priser på tilbehørsprodukter til afskærmning mod sol, varme, lyd og indkig for opnåelse af god brugerkomfort/-venlighed.

Skifte til ventilationsvinduer

Styrker: Kan være et energieffektivt og komfortforbedrende element ved renoveringer, hvor vinduerne udskiftes og bygningen tætnes, men hvor det kan være svært at indsætte en egentlig ventilation med varmegenvinding. Intet elforbrug til ventilation. Gode lyddæmpende egenskaber. Mulighed for integreret solafskærmning

Svagheder: Et ventilationsvindue indeholder en ventil, der jævnligt skal kontrolleres og et filter, der jævnligt skal rengøres. Der findes ingen almindeligt anerkendt metode til beregning af energibalancen/-besparelsen

Muligheder: Beregningsmetoder og projekteringsværktøjer som forudsætning for optimalt design og skabelse af markedet for ventilationsvinduer.

Trusler: Manglende dokumentation af ventilationsvinduers fordele. Er vinduet tilstrækkeligt ”lavenergi” til lavenergi renovering? For kompliceret vedligeholdelse og indregulering

Etablering af solafskærmning

Styrker: Solafskærmning udvendigt (persienne eller gardin) reducerer solindfaldet med op til 80 %. Solafskærmning kan bruges til at undgå kondensproblemer ift. højisolerede ruder

Svagheder: Effektiv udvendig solafskærmning er dyrt, priser på 3000 - 4000 kr/m² inkl. automatik og moms er ikke ualmindelige.

Muligheder: Solafskærmninger med høj grad af automatik, men en brugervenlig styring
Solafskærmning i kombination med udluftning, som kan bidrage til bedre udnyttelse af dagslys og solvarme uden gener fra direkte solstråling

Trusler: Arkitekturen

3.3.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Byggeerhvervet er ved at tilpasse sig til et marked med større efterspørgsel efter vinduer med bedre energimæssige egenskaber til både nye lavenergihuse og -renovering. Den teknologiske udfordring i den forbindelse er især knyttet til at vinduer skal matche krav til skandinavisk arkitektur, som danske bygningsejere efterspørger i form af krav til design, funktion og indbygning, og mere konkret en let og elegant konstruktion og indbygning yderligt i facaden. I de nærmeste nabolande findes der mange producenter af vinduer egnet til passivhuse og lavenergihuse, men de lever ikke op til de danske krav.

Projekt Vindue (1998-2004) der blev gennemført med økonomisk støtte fra Energistyrelsen og efterfølgende forsknings- og udviklingsprojekter udgør samlet set et godt grundlag for håndtering af byggeerhvervets teknologiske udfordringer vedrørende krav om energimæssigt bedre vinduer og renoveringsløsninger.

Udviklingen af energimæssigt bedre glastyper og samlede rudeløsninger har de sidste 10 år været mærkbar, mens vinduers karme og rammer har været, og er i mange tilfælde stadigvæk det svage led. På dette område har især DTU gennemført en række forskningsprojekter, hvor der er konstrueret prototyper på forslag til fremtidens vinduer med smal og velisolerede ramme/karm, som peger på store forbedringsmuligheder.

Enkelte danske vinduesproducenter har selvstændigt eller i samarbejde med videninstitutioner taget udfordringen op og har gennemført konkret produktudvikling og resultaterne har indtil videre været gode. Der findes pt. en håndfuld producenter, der tilbyder plusvinduer, hvor energitilskuddet beregnet for et vindue i standard størrelse (1,23 x 1,48 m) er større end nul. U-værdi for ramme-karmkonstruktionen er ca. 1,0 – 1,4 W/m²K. Et eksempel på et plusvindue, er et vindue udført i en kombination af træ og kompositmateriale med en ramme-karmbredde på kun 57 mm og en U-værdi for ramme-karmkonstruktionen på ca. 1,4 W/m²K.

Interessen for ventilationsvinduer til især renoveringer, hvor vinduerne skiftes, er stigende, men der er et problem med dokumentationen af deres fordele. I et eksisterende offentligt støttet udviklingsprojekt (ProVent) om energibesparende ventilerede vinduer arbejdes på en

metode til at beregne energibalancen for ventilerede vinduer og en implementering i program til beregning af bygningers energibehov.

Væsentligste igangværende og afsluttede projekter:

Energineutralt vindue for opgradering af bolig (EFP 2008-09) Velux; TI; Gaia Solar; SpeedTech; ECO-vent; JENK; Albertslund Kommune: Vindues-løsning som tilgodeser beboernes ønske om et godt indeklima på en "energineutral" måde.

ProVent: Projekteringsviden for Ventilationsvinduer i lavenergi-bygninger uden elforbrugende mekanisk varmegenvinding (PSO 2008-09) SBI-AAU, HansenProfile A/S, Velux A/S, DTU Byg: Udvikle en simplificeret beregningsmodel ProVent til Be06. Skal gøre det muligt at beregne effekten af ventilationsvinduer på en bygnings energimæssige ydeevne.

Analyse af energikrav til vinduer i energimærkningsordningen og BR 2010, 2015 og 2020 (2008) DTU Byg for energistyrelsen: Forslag til opstilling af fremtidige krav til vinduer i eksisterende bygninger

Videnssystem om vinduer (EFP 2007-08): Webbaseret videnssystem om energirigtige vinduesløsninger.

Designguide til valg af vinduesløsninger i boliger (EUDP 2007-08) Boligfonden kubén: Udvikling af værktøjet, WinDesign, til energimæssig og økonomisk analyse af forskellige vinduers betydning i en given bygning

Udvikling af nye typer energivinduer af kompositmateriale (EFP 2007-08) DTU Byg; Fiberline Composites: Opnåede energitilskud på hhv. 22 og 27 kWh/m² pr år for ét-fags vindue.

RE-FRAME - New Window Framing Technologies for Aerogel and Other Highly Insulating Glazing (EU 2001-06) nationale og internationale parter: smal ramme/karmkonstruktion til højisolerede ruder og andre typer højisolerede ruder (f.eks. Aerogelruder) => vindues U-værdi på maks. 0,6 W/m²K.

Sidste nævnte EU-projekt RE-FRAME med deltagelse af en større dansk rådgivende ingeniørvirksomhed og DTU, er der udviklet en model af et indadgående dreje/kip vindue med en relativ smal ramme/karm på ca. 80 mm. Den beregnede U-værdi for ramme/karmkonstruktionen ligger mellem 0,60 og 0,65 W/m²K. Den lave U-værdi er opnået ved at udnytte rudens stivhed og styrke kombineret med limning af karmprofilet til ruden. Ramme og karm udføres i kompositmateriale som f.eks. glasfiberarmeret polyester, samt lavdensitet PUR-skum. Ramme/karmkonstruktionen kan anvendes til traditionelle "varme kanter", men der er også arbejdet med rudekantløsninger af celleglas samt andre tiltag til reduktion af den lineære kuldebro. Med en kantløsning af f.eks. celleglas er vinduets samlede U-værdi for standard størrelse beregnet til ca. 0,62 W/m²K med en U-værdi for ruden på 0,55 W/m²K. Resultaterne af dette projekt udgør inspiration til nye veje i udviklingen af vinduer med bedre energimæssige egenskaber.

3.3.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Der er voksende efterspørgsel på energimæssigt bedre vinduer til både nybyggeri og renovering. Dette skal også ses i sammenhæng med udsigten til skærpelser af bygningsreglementets energibestemmelser, Danmarks klimaforpligtelser og fokus på en større energispareindsats i forhold til eksisterende bygninger samt hensynet til konkurrencedygtighed og muligheden for at tage markedsandelen i udlandet, hvor der må forventes et stort marked for lavenergiløsninger på især vinduesområdet.

Der er en række barrierer for realiseringen af energimæssigt bedre vinduer, såsom holdninger til lysindfald, det danske design, valgfrihed vedr. funktion mv., generel konservatisme hos forbrugere og branche, manglende tro på et marked for bedre vinduer og høj pris på lavenergi- og jernfattigt glas. Det er vigtigt også at få bearbejdet disse barrierer.

Byggeerhvervets F&U behov/muligheder kan sammenfattes til følgende:

Bedre ruder uden kondens, med flere glaslag, optimal glasafstand og gasfyldninger, jernfattigt glas, belægninger (lav-e, anti-refleks, ”selvrensende” mv.) og rudekant (afstandsprofil)

Plusvinduer til fremtidige energi- og arkitektoniske krav i ind- og udland, herunder ramme/karmkonstruktioner med bedre energimæssige egenskaber mv., herunder især nye bedre materialer til smalle og højisolerende profiler.

Plus-renoveringsløsninger til ældre bevaringsværdige vinduer i form af koblede vinduer, fx som 1+2 løsninger med integreret solafskærmning

Plusvinduer med multifunktioner/dynamiske egenskaber (til både kontorer og boliger) til udnyttelse af solindfald, reduktion af overophednings-problemer og kølebehov om dagen og varmetab om natten i form af billige solafskærmninger med automatisk styring, skodder, ventilation, smarte vinduer, glasintegrerede løsninger mv.
Passive løsninger til imødegåelse af overophedningsproblemer ved anvendelse af glas i eksisterende bygninger – retningslinier

Energirigtige indbygningsløsninger med fokus på varmetab og solindfald skræddersyet for vinduesudskiftning i eksisterende bygninger

Mere vidtgående mærkningsordning for vinduer med tydeliggørelse af vinduers mange og særligt energimæssige egenskaber

Beregningsmetoder og simple projekteringsværktøjer til optimalt vinduesvalg i boliger og andre bygningstyper

3.3.5 Fokusområder

Fokusområder for videninstitutioner i netværket er baseret på tidligere og igangværende F&U projekter. DTU Byg har fokus ligger på forskning og udvikling af energimæssigt bedre vinduer i tæt samarbejde med producenter af ruder og vinduer, herunder udførelse af detaljerede beregninger og prøvninger af energimæssige og optiske egenskaber. SBI-AAU har især fokus på solafskærmnings- og dagslyssystemer. Teknologisk Institut har ekspertise og faciliteter til dimensionering og prøvninger af glas, ruder og vinduer og døre.

3.4 Glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger

3.4.1 Beskrivelse af delområdet

Klimaskærmen influerer på en meget stor procentdel af en bygning's totale energiforbrug, og en vigtig forudsætning for at der kan gennemføres massive energibesparelser i den eksisterende bygningsmasse vil derfor være, at der udvikles tidssvarende og økonomiske løsninger til de typiske bygnings- og facadetyper, som har været dominerende gennem tiderne. Selv om "glasbygninger" ofte forbindes med høje energiforbrug og problematisk indeklima, kan glasfacader og glasoverdækninger være en del af løsningen til at bringe triste energikrævende bygninger op til dagens eller fremtidens energistandarder. Dette delområde omfatter alle klimaskærmskonstruktioner, der er domineret af (transparent) glas. Der kan være tale om hele facader, hvor glasskærmen er hængt uden på de bærende konstruktioner, men der kan også være tale om større partier af en facade som udgøres af mere traditionelle vinduespartier. Grænsen til området "Lavenergivinduer" er således flydende, og en teknologi, som er udviklet til forbedring af et enkelt vindueselement vil normalt også kunne udnyttes i en hel glasfacade.

Facaden bør ikke betragtes som en simpel skærm, der beskytter det kontrollerede indeklima mod det varierende udeklima. Derimod bør glasfacaden betragtes som et *system*, der skal opfylde en lang række funktioner for at opfylde grundlæggende komfortkrav samtidig med at det sker på en energieffektiv måde. De vigtigste funktioner med hensyn til komfort- og energiforhold er at:

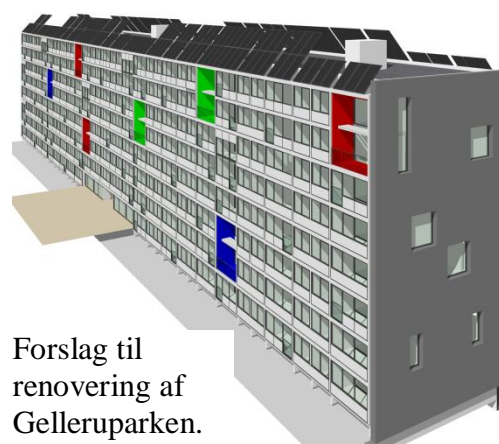
- begrænse varmetabet fra bygningen til det fri
- udnytte solvarme, passivt og aktivt
- beskytte mod store solindfald, som vil medføre overtemperaturer i bygningen
- udnytte dagslys og regulere til aktuelt behov
- tillade udsyn til omgivelserne
- beskytte mod blænding, store kontraster og refleksioner i blanke overflader
- bidrage til (naturlig) ventilation, manuelt eller automatisk reguleret
- beskytte mod støj udefra

Der er således tale om flere modsætningsfyldte funktioner, og derfor må facaden designes ud fra en optimeringsstrategi, hvor de enkelte hensyn vægtes efter den aktuelle prioritering. Netop fordi glasfacaden opfattes som et *system*, omfatter delområdet også *solafskærmningen*, der således betragtes som en integreret del af systemløsningen. Endvidere må det ud fra ovennævnte funktionskrav med hensyn til komfort og energi også være klart, at *facade-systemet* skal fungerer i samspil med bygningens øvrige systemer (installationer og anlæg), primært opvarmning, belysning, ventilation og køling. På grund af denne kompleksitet beskrives facadeløsninger også som "multifunktionelle facader", "dynamiske facader" eller "intelligente facader", betegnelser som alle dækker over, at facadens ydeevne (performance) kun kan beskrives, når dens funktion ses i en større sammenhæng. Selv om der kan være behov for en teknologisk udvikling af facadesystemets enkelte dele, er det vigtigt, at forsknings- og udviklingsindsatsen er baseret på helhedsløsninger frem for komponent- og detaljløsninger.

I det følgende beskrives en række typer af facaderenoveringer, hvor glasset er dominerende, og som må forventes at blive yderligere udviklet i fremtidens lavenergibyggeri. De valgte eksempler er ikke udtømmende for de mulige teknologiudviklinger, og de bør ikke betragtes som selvstændige løsninger, men derimod som en del af facade- eller systemløsning, hvor facaden (klimaskærmen) fungerer i samspil med bygningens tekniske installationer.

Glasfacader til betonelementbyggeri

Som renoveringstiltag kan en glasfacade være relevant som en løsning på kuldebro-problemer uden for eksisterende altaner eller altangange. Glasfacaden kan opføres som en ny selvstændig facade, enten som selvbærende konstruktion eller båret af bærende betonelement-tværvægge. Problemet er, at det er vanskeligt på en æstetisk forsvarlig måde at isolere udvendigt, således at kuldebroen ved altantilslutningen fjernes. Den nye facade kan udføres som en let, transparent løsning, med relativ stor glasandel for at sikre tilstrækkeligt dagslys til rummene indenfor den tidligere altan. For at holde lavenergirammen vil det normalt være nødvendigt at vælge en 3-lags energirude samt et fast, isoleret parti (brystning) i den nederste del af facadeløsningen. Da rummene mod den tidligere altan bliver væsentligt dybere, er det vigtigt at der vælges en rudetype med høj lystransmittans, evt. ved at anvende jernfattigt glas, for at opnå tilstrækkeligt dagslys.



Forslag til renovering af Gellerupparken.
Idé: Creo

Udskiftning af eksisterende glasfacader

Mange bygninger er i de seneste år opført med facader, der stort set kun udgøres af glaspartier. Den store udbredelse af glasfacader skyldes, at de på mange områder opfylder grundlæggende designønsker, fx: - bidrager de til ønsket arkitektonisk udtryk (enkelhed, renhed, transparens), - giver meget dagslys, - god lyskvalitet, - tillader godt udsyn, - giver stor passiv solvarmeudnyttelse. Andre fordele er at glasfacaderne kan udføre næsten vedligeholdelsesfri og er ganske robuste over for vind og vejr. Til glasfacadernes svagheder hører, at de kun kan fungere i samspil med en effektiv (dynamisk) solafskærmning og med bygningens klimainstallationer. Hvis ikke reguleringen af solindfald og dagslys fungerer, medfører glasfacaderne overforbrug til opvarmning og/eller køling og ventilation samt problemer med det termiske og visuelle indemiljø.



Det er en kendsgerning, at mange af disse bygninger lider under et højt energiforbrug og et problematisk indeklima. Udviklingen i rude- og vinduesteknologien har medført væsentlige forbedringer i de seneste 10 år, og derfor kan det i mange tilfælde være relevant at overveje en total-udskiftning af de ældre rudetyper. I mange tilfælde anvendes solafskærmende ruder suppleret med indvendige gardiner. I langt de fleste tilfælde vil det,

både ud fra en energimæssig og en indeklimamæssig betragtning være fordelagtigt at reducere glasarealet og forsyne facaden med en regulerbar



Mange af de ældre glasfacader er udført med solafskærmende ruder og indvendige gardiner, hvilket ud fra energi- og indeklimahensyn ikke er særlig hensigtsmæssigt.

solafskærmning, der kan trækkes helt fra, når solvarmen kan udnyttes, og sollyset ikke generer.

Dobbeltfacader

Dobbeltfacader er karakteriseret ved at der er placeret en ydre transparent facade uden for den indre (primære) klimaskærm, således at der optræder et luftmelle rum mellem den ydre og den indre skærm. Denne type facade har gradvist vundet større indpas i Danmark, og det forudses, at udbredelsen vil øges væsentligt i de kommende år pga. de nye energibestemmelser og de planlagte skærper i de kommende bygningsreglementer.



Dobbeltfacaden vinder frem, fordi den på flere måder gør det nemmere at opfylde de mange funktionskrav, som stilles til facaden, samtidig med at der opnås ganske betydelige energibesparelser og en forbedring af indeklimaet. I forbindelse med renovering giver dobbeltfacaden mulighed for at den eksisterende bygning får et helt nyt og tidssvarende arkitektonisk udtryk (enkelthed, transparens, åbenhed, m.m.), samtidig med at værdierne i den oprindelige arkitektur til en vis grad kan bevares. Denne type renovering vil især være relevant, når de eksisterende facader i forvejen er domineret af glas, og når der er et udtalt behov for at reducere støjgener fra omgivelserne, fx hovedfærdselsårer. Ofte vil der samtidig indgå overvejelser om bedre solafskærmning, mulighed for naturlig ventilation (eller hybrid ventilation), og eventuelt en reduktion af det oprindelige glasareal.

Der findes flere forskellige principper for udførelsen af dobbeltfacader, men i forbindelse med renoveringer, vil det ofte være nødvendigt at opføre den udvendige facade som en selv bærende konstruktion, uden kuldebroer til den eksisterende facade. I alle tilfælde er der tale om en ganske kompliceret sag at få dobbeltfacaden til at fungere som et optimalt system under alle ude- og indeklimaforhold. En anden svaghed ved dobbeltfacader er, at der er tale om en meget kostbar måde at renovere på.

Energieffektive solafskærmninger

Store vinduer (større end ca. 35 pct. glas i facaden) vil normalt kræve udvendig afskærmning for at der kan opretholdes et tilfredsstillende termisk indeklima. Markiser og lameller, fx persiennner, kan normalt beskytte tilstrækkeligt mod blænding, mens screens (rullegardiner) må suppleres med en ekstra afskærmning, fx indvendige gardiner. Afskærmningen bør være forsynet med en automatisk regulering, der kan overstyres manuelt.

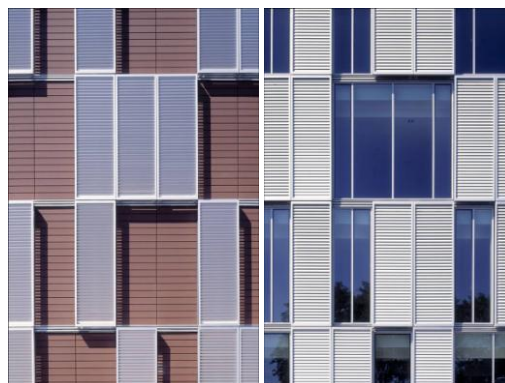
Afskærmningen, fx i form af en persienne eller en screen, monteres udvendigt på eksisterende facade. Energimæssigt har solafskærmningen to vigtige



funktioner: Afskærmningen skal kunne blokere effektivt for uønsket solvarmetilførsel, men den skal også kunne tillade maksimalt solvarmetilskud i opvarmningssæsonen. Ofte tages der kun hensyn til den solafskærmende funktion, og derfor anvendes alt for ofte faste former for solafskærmninger, fx i form af faste lameller eller som solafskærmende ruder. Det forekommer ret sjældent, at solafskærmninger eftermonteres på en eksisterende bygning som et enkeltstående energibesparende tiltag. Hovedårsagen til opsætning af solafskærmning på en eksisterende bygning er som regel, at den eksisterende løsning medfører dårligt indeklima i form af overophedning om sommeren og/eller hyppige gener af blænding fra sollyset. Den energimæssige effekt af en ny effektiv solafskærmning afhænger især af tre forhold: Den eksisterende form for afskærmning, den samlede varmebelastning (intern varme og sol) af rummet bag afskærmningen samt måden den nye solafskærmning reguleres på. De største energibesparelser opnås i bygninger med mekanisk køling og/eller bygninger, hvor varmebelastningen er dimensionerende for den nødvendige ventilationsluftstrøm (om sommeren).

Dynamiske facader

I erkendelse af, at mange af de senere års glasdominerede bygninger lider under et højt energiforbrug og et problematisk indeklima, er der behov for at udvikle løsninger, der på én gang kan løse energi- og indeklimaproblemerne. Da hovedproblemet ofte er, at der anvendes for store glasarealer i de solbeskinnede facader, vil en del af løsninger være, at glasarealet reduceres. I praksis vil der være tale om renoveringer, hvor bygningerne skal opfylde de skærpede energibestemmelser med lavere energirammer end ved opførelsen, og det vil være naturligt at tænke i mere dynamiske løsninger, hvor facaden kan tilpasse sig de skiftende behov over døgnet og året.



Eksempel på dynamisk facade, hvor afskærmende skodder kan skydes for og fra efter behov (FIH Bank Art

Den dynamiske facade kan tilpasses individuelle behov i bygningens enkelte rum og sikre, at energiforbruget minimeres i rum, hvor ingen personer er til stede. I de seneste år er der udviklet flere eksempler på dynamiske facader, specielt typer af facader hvor solafskærmning og lysregulering er integreret med brug af solceller (transparente eller semi-transparente). En fordel ved at integrere solceller i glasfacader kan være, at de forholdsvist nemt kan indpasses i denne facadetype og samtidig opfylde æstetiske, image-mæssige og funktionelle krav, fx som lokal strømforsyning for delsystemer i facaden. En anden indlysende fordel kan være, at et solcellesystem måske kan levere det nødvendige marginalbidrag, der bevirker at energirammen kan overholdes. Den indlysende ulempe er, at de endnu er for dyre, at funktionen af solceller er ret sårbar (udsat for vind og vejr, effektkonvertering, skyggeproblemer m.m.).

3.4.2 Screening (F&U muligheder)

Glasfacader

Mulige udviklings- og anvendelsesmuligheder ligger bl.a. i øget anvendelse af 3-lags ruder. 3-lagsruderne har været ret begrænsede i Danmark, men vil få større udbredelse med de skærpede energikrav. For at begrænse rudernes farveforvrængning af dagslyset synes der at være behov for udvikling af ruder standardruder med jernfattigt glas eller eventuelt ruder, hvor det midterste lag blot er en folie. Da udvendig kondens er et problem ved højisolerede ruder ($U < 1,2$), kan der peges på 3 FoU muligheder: 1) Anvendelse af "selvrensende"

belægninger, der vil reducere problemet. Der findes flere typer (nano-teknologiske) belægninger, fabrikspålagte og in-situ påsprøjtede, men korttids- og langtidsvirkninger kendes endnu ikke. 2) En anden mulighed er større differentiering af facadeglasset således at de bedst isolerende måske er matte/ translucente, men de mere traditionelle er klare. 3) Endelig må det også forudses, at fremtidens mere dynamiske facade vil integrere udvendige afskærmninger og skodder, hvorved kondensproblemet også kan løses. I forbindelse med flere og nye belægningstyper vil der være et behov for FoU indsats for at afklare virkningerne af en antirefleksbehandling af glasset, der både kan øge varme- og lystransmittansen samt reducere gener af reflekser og blænding fra facaderne mod omgivelserne. Elektrokrome ruder er en anden lovende teknologi, der har været under udvikling gennem 15 år. Ved påtrykning af en lille spænding ændres ruden (i løbet af nogle minutter) fra en "klar" rude til en mørkere, hvorved lys- og solvarmetransmittansen kan justeres efter det aktuelle behov. De kommende skærpede energikrav er en klar trussel mod anvendelsen af rene glasfacader. Et af problemerne ved glasfacaderne er kuldebroerne langs afstandsprofilerne og i montagesystemet. En anden trussel kan være at levetiden for nyudviklede rudetyper og montagesystemer ikke opfylder forventningerne, hvilket vil medføre store omkostninger til facaderenovering i "utide".

De skærpede energikrav medfører også et behov for fortsat udvikling af solcelleteknologien, specielt billige tyndfilm-solceller som kan integreres fuldt i facadeløsningen. På kort sigt ligger de største FoU muligheder i at få solceller i glasfacaden til at spille med i intelligente, multifunktionelle facadesystemer. På længere sigt vil der formentlig blive tale om store glaspartier, der er hel-coatede med solceller i form af krystallinske siliciumceller, tyndfilmsceller eller fotoelektriske polymere celler. Internationalt er solcelleteknologien et højt prioriteret område, der samtidig er i hastig vækst. Selvom solcelleproduceret el endnu kun er konkurrencedygtigt i mindre nicheanvendelser, indikerer teknologiens udvikling og potentialer, at solceller som en vedvarende energiteknologi, kan forventes at blive konkurrencedygtig indenfor en overskuelig årrække, ikke mindst som integrerede elementer i byggeriet.

Dobbeltfacader

Forsknings-, udviklings- og demonstrationspotentialer ligger bl.a. i undersøgelser vedrørende kuldebroer, tæthed samt strømnings- og temperaturfordeling i de forskellige varianter samt demonstrationsprojekter som dokumenterer, at dobbeltfacader kan reducere energiforbruget, samtidig med at indeklimaet forbedres. Imidlertid er det en afgørende barriere for korrekt udførelse af dobbeltfacader er, at der ikke findes projekteringsværktøjer, som kan benyttes i beslutningsprocessen omkring analyse og valg af den optimale dobbeltfacadeløsning. Der bør derfor udvikles værktøjer som kan simulere dobbeltfacaders termiske og energimæssige egenskaber og samspillet med resten af bygningen og dens systemer.

Dynamiske facader

Der er et stort FoU- samt demonstrationspotentialer i udvikling af velfungerende facadesystemer. FoU indsatsen bør foregå i et bredt samarbejde mellem flere forskningsinstitutioner og industrivirksomheder omfattende glasbranchen, facadebranchen, ventilationsbranchen, belysningsbranchen m.fl. Den største barriere for udviklingen af de avancerede facadesystemer synes at være, at de ikke kan bringes til at fungere tilfredsstillende for brugerne. En anden risiko er at anlægsomkostningerne til multifunktionelle facade-systemer bliver for store.

Solafskærmninger

Der ligger et stort FoU samt demonstrationspotentiale i videreudvikling af effektive solafskærmninger. Specielt må der peges på funktions-robuste systemer der kan medvirke til at opfylde facadesystemets vigtigste funktioner, samtidig med at der lægges vægt på at systemerne tilgodeser brugernes primære behov: at kunne se ud, at undgå blænding samt at begrænse direkte solindstråling. Specielt er der behov for udvikling af nye reguleringssystemer, der kan integreres med bygningens øvrige systemer. En barriere for anvendelsen af solafskærmninger i glasfacader kan være, at der ikke er tilstrækkeligt datamateriale som beskriver afskærmningers egenskaber i de mange kombinationsmuligheder som findes (rudetyper, udvendig, indvendig, integreret etc.) samt at der ikke findes værktøjer som kan benyttes til at simulere de dynamiske reguleringsfunktioner.

3.4.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervenes teknologiske udfordringer)

På flere områder har der traditionelt været en god sammenhæng mellem forskningen og byggeriets teknologiske udfordringer vedrørende glasfacader og -tage samt afskærmninger. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) har gennem mange år forsket i energimæssige og komfortmæssige aspekter af forskellige facadeudformninger, solafskærmninger, dagslyssystemer, rudetyper m.m. Som Operating Agent for IEA SHC Task 21: Daylight in Buildings (1995-2000) har SBI medvirket til opbygning af et omfattende internationalt netværk af forskningsinstitutioner og industrivirksomheder. Det internationale samarbejde er fortsat i IEA SHC Task 31: Daylighting Buildings in the 21st Century (2001-2006) og i EU-projektet ECCO-Build (Energy and Comfort Control for Building Management Systems, 2002-2006), der bl.a. fokuserede på integrerede reguleringssystemer og indvirkningen heraf på energiforbrug og komfortforhold. Gennem samarbejde med projekterende, glasbranchen, vinduesfabrikanter samt solafskærmningsbranchen er der gennemført en række projekter som sigter på at afdække energi- og komfortforhold ved anvendelse af glasfacader. Endelig har DTU og SBI i samarbejde F&U-projektet: Udvikling af nye typer solafskærmningssystemer baseret på dagslysdiregerende, solafskærmende glaslameller, der i 2009 munder ud i et demonstrationsprojekt på en konkret bygning. Blandt de relevante projekter kan nævnes:

- Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader
- Facaderenovering med glas
- Højisolerende glaspartier i nye etageboliger
- Miljøvurdering af vinduer
- Arkitektur, energi og dagslys
- Elproducerende solafskærmninger
- Integreret regulering af solafskærmning, dagslys og kunstlys
- Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger
- Udvikling af nye typer solafskærmningssystemer baseret på dagslysdiregerende, solafskærmende glaslameller
- Demonstration af nyt solafskærmningssystem baseret på dagslysdiregerende, solafskærmende glaslameller
- Thi-Fi-Tech – application of thin-film technology in Denmark (solceller)

Alle projekter er gennemført i et tæt samarbejde med byggeerhvervets aktører: praktiserende arkitekter, projekterende og udførende ingeniører, relevante industripartnere samt bygherrer. Og alle projekter har haft karakter af innovation med henblik på at skabe energi- og miljømæssige gode løsninger.

Gennem det internationale samarbejde samt de nationale forskningsprojekter har SBI opbygget en kompetence som dækker bredt med hensyn til forskning og udvikling i nye lavenergi facadeløsninger.

Aalborg Universitet (AAU) har opbygget en unik testfacilitet til afprøvning af facadesystemers funktion, og deltager i øjeblikket i det Internationale forskningsprojekt IEA SHC Task 34 "Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools". I projektet udvikler AAU en model til beregning af energi- og luftstrømningsforhold i dobbeltfacader, og AAU har her ansvaret for udvikling af en benchmark testcase for dobbeltfacader, der både består af en serie beregningstestcases og af en serie eksperimentelle laboratorie testcases. Dette arbejde er finansieret af STVF og afsluttes i begyndelsen af 2007.

Forskning vedrørende facadeintegrerede solceller foregår både på SBI og på Teknologisk Institut (TI), og de to institutter har flere samarbejdsprojekter (afsluttede og igangværende) med aktiv deltagelse af glas- og solcellebranchen.

Forskningen vedrørende solafskærmninger foregår primært på SBI og BYG-DTU. SBI har især fokuseret på reguleringen, de visuelle forhold samt brugerpræferencer for brug af afskærmninger, mens BYG-DTU især har forsket i de termiske og energimæssige forhold. De to forskningsinstitutioner har to samarbejdsprojekter, hvor også industrien deltager aktivt.

De skærpede energibestemmelser medfører nye udfordringer for byggebranchen, og rejser et behov for tættere samarbejde mellem industrien og forskningen, specielt vedrørende udviklingen af velfungerende multifunktionelle facadesystemer. Flere forsøg inden for de seneste år på at etablere en form for innovationskonsortium er slået fejl, formentlig fordi et meget stort antal aktører er nødvendige, medens usikkerheden om hvorvidt konsortiet vil blive etableret er stor. Hos de projekterende er der opstået et behov for værktøjer, der kan simulere funktionen af de komplekse facader, inklusive de integrerede reguleringssystemer, som er nødvendige for facadernes optimale ydelse.

3.4.4 Behov og muligheder (Byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

I et følgende angives en liste over byggeerhvervets udtalte behov for forskning, udvikling, demonstration og videnformidling, idet de relevante brancher udtrykker stor interesse for at deltage i FoU indsatserne.

Glasfacader generelt

Forskning der kan resultere i anvisninger vedrørende kuldebroer ved forskellige montage løsninger

Forskning og anvisninger på samspil mellem glasfacade, solafskærmning og dagslysforhold

Dobbeltfacader

Forsknings- og udredningsprojekt vedrørende forskellige systemløsningers egnethed til forskellige bygningstyper og driftssituationer

Værktøjer, der kan simulere de termiske og energimæssige forhold i dobbeltfacader (findes ikke i dag)

Solafskærmninger

Anvisninger vedrørende solafskærmningers egenskaber i kombination med forskellige rude- og facadetyper.

Forskning vedrørende integrerede reguleringssystemer.

Dynamiske facader

FoU indsats i et bredt samarbejde (konsortium) mellem mange aktører: forskningsinstitutioner, projekterende og industrien.

FoU indsats vedrørende integrerede reguleringssystemer til facadesystemer.

Projekteringsværktøjer

Behov for udvikling af metoder og (intelligente) værktøjer, der kan understøtte udviklingen af det enkelte lavenergiprojekt helt fra koncept- og skitsestadiet. Et sådant værktøj skal bruges både af arkitekt og ingeniør og tjener bl.a. til at fremme en egentlig integreret designproces.

Værktøjer der kan simulere de komplekse facadesystemer, inklusive de dynamiske forhold og reguleringer, som finder sted hen over dagen og året.

Demonstrationsprojekter

Behov for gode, markante demonstrationsprojekter, der dokumenterer energi-, indeklimate og økonomiforhold for lovende glasfacadeløsninger

Commissioning

Behov for standardprocedurer for funktionskontrol ved aflevering og drift af dynamiske facadesystemer

3.4.4.1 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter, som beskrevet ovenfor, men for de mest komplekse facadesystemer er der behov for et bredt samarbejde mellem flere forskningsaktører og mange industripartnere. Et fokusområde for SBi vil også være udvikling af metoder og værktøjer der kan understøtte et byggeprojekt fra koncept til færdigt byggeri.

3.5 Belysning

3.5.1 Beskrivelse af delområdet

Delområdet omfatter den samlede belysningsløsning, dvs. lyskilde, armatur/ belysningskoncept samt styrings- og reguleringsudstyr. "Armatur" skal her opfattes i hel bred forstand som et middel til at fordele lyskilden lysstrøm i rummet, fx kan en håndliste med indbyggede lysdioder således være et armatur. I de seneste år er der udviklet nye energieffektive lyskilder, belysningsarmaturer og automatiske styrings- og reguleringssystemer, hvilket har nedbragt den nødvendige installerede effekt og dermed energiforbruget væsentligt. Til trods for at mange nye enkeltkomponenter er kommet på markedet, ses det imidlertid sjældent i dagens byggeri, at komponenterne anvendes integreret i et både energieffektivt og ergonomisk belysningsdesign. Energiforbruget til kontorbelysning varierer kraftigt fra bygning til bygning og udgør i gennemsnit ca. 40 % af det samlede elforbrug. Det er bemærkelsesværdigt, at selvom der inden for de seneste 5-10 år er sket en hastig teknologisk udvikling af mere effektive lyskilder, belysningsarmaturer og reguleringssystemer, viser flere undersøgelser, at det typiske anlæg i dag sjældent lever op til dagens krav vedrørende energieffektivitet eller lyskvalitet. Der er således også blevet øget opmærksomhed på at integrere dagslysudnyttelsen i den samlede belysningsløsning, men en øget dagslystilførsel til et rum giver i sig selv ingen el-besparelse. En betingelse for besparelsen er, at den kunstige belysning styres efter dagslyset. Fordelene ved at udnytte dagslyset i bygninger og en gennemgang i hvad der skal tages hensyn til i relation til det er forklaret i SBI-anvisning 219.

Besparelspotentiale

I 2003 var elforbruget i den offentlige sektor 4,2 TWh/år (uden elvarme). Med henvisning til "Energihåndbogen", Foreningen for Energi og Miljø, 2002, samt Elsparefonden, 2008, oplyses at andel af elforbrug til belysning fordeler sig således (overlap mellem grupperingerne):

Industri	7 %
Handel og service	29 %
Boliger	17 %
Offentlige virksomheder	31 %
Kontor og administration	40 %
Skoler	50 %
Døgninstitutioner	35 %

For den offentlige sektor er det vurderet at det teoretiske besparelspotentiale udgør 1,2 TWh/år, hvilket svarer til ca. 28 procent af den offentlige sektors samlede elforbrug (4,2 TWh/år). Energibesparelspotentialet til belysning for den offentlige sektor "her og nu" antages at være 0,38 TWh/år, mens et lidt mere langsigtet mål er 0,54 TWh/år. Dertil kommer den private sektor. Der er således et betydeligt besparelspotentiale ved at udforme kontor- og institutionsbygninger med en bedre tilpasning til rummenes funktion og brugernes aktiviteter, således at behovet for belysning kan reduceres ved en bevidst udnyttelse af dagslyset uden at forringe kvaliteten af belysningen. Den hidtidige forskning understøtter at dagslyset i størst mulig udstrækning bør dække det daglige belysningsbehov, og den kunstige belysning skal tilrettelægges således, at det skabes der rette betingelser i de perioder og områder, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt. Kommende udfordring kan derfor være, at der opstår et større behov for et mere fleksibelt belysningsmiljø, som både tilgodeser skiftende arbejdsopgaver og individuelle ønsker og behov. Om resultatet bliver væsentligt højere

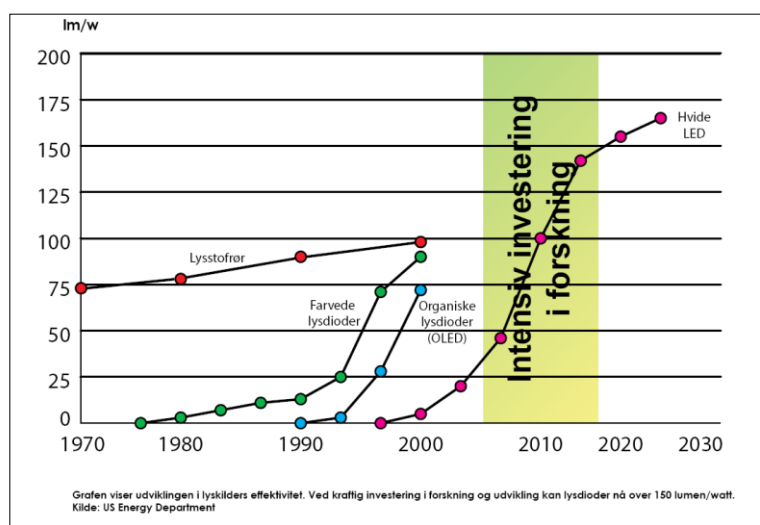
belysningsniveauer end de niveauer, der normalt anvendes i Danmark, er endnu meget usikkert. Men en bevidst energieffektiv belysningsplanlægning kan opfylde kravene til god belysningskvalitet.

I målsætningen om at reducere elforbrug til belysning er der mange hensyn at tage. Lyskilder med høj effektivitet (lm/W) bør bruges, men der skal tages til lysfarven og farvegengivelsen. Armaturet skal have en høj virkningsgrad men lysfordelingen fra armaturet og armaturenes placering i forhold til brugeren og reflekterende flader er afgørende faktorer for blænding. Elektronikken skal bruge så lidt effekt som muligt og understøtte lyskvaliteten. Lysstyring skal understøtte brugernes behov og æstetik, men sluk eller dæmp for lyset i de perioder /områder der ikke er brug for belysning.

3.5.2 Screening (F&U muligheder)

Lyskilder

De to almindeligste former for lyskilder er de såkaldte temperaturstrålere (glødelamper, halogenglødelamper) og luminescensstrålere (lysstofrør, sparepærer, kompakte lysstofrør og kviksløvlamper). Desuden findes såkaldte damplamper. Relativt nyt på markedet er lysdioderne - også kaldet LED (Light Emitting Diode) . Udviklingen inden for lysdioder går meget stærkt og derfor ændrer specifikationer, egenskaber og anvendelsesmuligheder sig hele tiden.. Det næste spændende produkt på vej ind til markedet er OLED (Organic Light Emitting Diode) som medfører nye muligheder for design med udformnings fleksibilitet og potentialer for en transparent flade.



Lysdioder er på mange måder fremtidens lyskilde, som er på vej ind mange forskellige steder både udendørs og indendørs. Lysdioder er små elektroniske komponenter, som udsender lys, når der sendes strøm igennem dem. Der er ingen glas, glødetråde eller gasser undertryk som i andre lyskilder. En lysdiode bruger typisk fra 0,1 W til 5 watt og kræver en særlig elektronik til at drive lysdioden. Fordelene ved dioderne er, at de er små robuste og har en meget

lang levetid i forhold til traditionelle lyskilder. 25.000-50.000 timer er mulige, hvilket er 25-50 gange længere end standardglødepærer. På grund af de små dimensioner kan de indbygges i eksempelvis hylder, skabe, gelændere og trapper. Dioderne findes i flere forskellige farver og som almen belysning skal man være opmærksom på om man ønsker en varm eller en koldt lysfarve. De bedste lysdioder har en farvekvalitet, der i dag er bedre eller på niveau med gode lysstofrør og sparepærer. Ulempen er, at de endnu er relativt dyre. Effektivitetsmæssigt målt som lysmængde pr. watt er de bedste dioder i dag bedre end glødepærer og halogenpærer og giver op til 60 lumen/watt. Der har været og forventes fortsat en kraftig udvikling inden for dioder til belysning i de kommende år. FoU indsatsen i Danmark har været koncentreret om *anvendelsen* af dioder, udvikling af styringselektronik, optik, reflektorer og belysningsløsninger der kan erstatte energikrævende belysningsløsninger: glødelamper,

halogen spot m.fl. I første omgang vil udviklingen fokusere på lysdioderne som spot- og effektbelysning i boliger, hoteller, butikker, bygninger, trapper, gange og museer m.m. Næste trin er kontorbelysning, men der vil gå nogle år før der kommer løsninger til dette område fordi lysdioderne effektiviteten er ikke tilstrækkelig, farvekvaliteten endnu ikke god nok og lysmængden fra den enkelte lysdiode er ikke høj nok til at det er rentabelt at skifte til lysdioder.



Dæmpning af lyskilder

Når man styrer eller regulerer lysstrømmen fra en lyskilde, kan det have forskellige konsekvenser for lyskildens levetid, lysudbyttet og farveegenskaber. For temperaturstrålere kan dæmpning forøge levetiden væsentligt. For luminescensstrålere begrænses strømmen gennem lyskilden ved en forkobling og valg af forkobling har indflydelse på energiforbrug og muligheder for lysregulering. De senere års udvikling af højfrekvente forkoblingsenheder (HF-spoler med en frekvens på ca. 30.000 Hz) har bevirket, at disse reguleres flimmerfrit fra fuld styrke til ganske få % lysudsendelse. Reguleringen af et armatur med en HF-forkobling med dæmpning kan ske ved hjælp af et 1-10 volt signal eller med DALI (Digital Addressable Lighting Interface) eller IP-styring, der kan styres manuelt eller elektronisk ved hjælp af en sensor, der måler belysningsstyrken i lokalet. Fordelene ved DALI og IP er at den forøger styringsmuligheden til en grad hvor man kan gå ind og styre det enkelte armatur dermed få en mere fleksibel løsning. Ved dæmpning af lysstoffør og temperaturstrålere ændres farvetemperaturen lidt til et mere 'varmt' lys jo mere der dæmpes.

Belysningsystemer og koncepter

Det voksende antal skærmarbejdspladser blev starten på udvikling af nye og forbedring af eksisterende belysningskoncepter. Ofte bliver armaturerne til almenbelysningen fordelt jævnt over hele lokalet, og der opnås ofte ensartet belysningsstyrke overalt. Hvis belysningskonceptet blev tilpasset den enkelte arbejdsplads eller grupper af arbejdspladser vil det uden tvivl føre til bedre og mere fleksible løsninger. Dog skal den projekterende have kendskab til arbejdspladsernes placering, lokalets øvrige indretning og farve- og materialevalg, hvilket ikke altid er gældende praksis.

Der er en lang tradition for at belysningsanlæg i kontorer, skoler og institutioner udføres med armaturer i et jævnt mønster over hele loftet, således at der opnås en ensartet belysning i hele lokalet. Imidlertid er personers behov for lys forskelligt, og de fleste personer foretrækker at supplere belysningen med en arbejdslampe. Dagens typiske belysningskoncepter giver ikke umiddelbart plads til sådanne løsninger. FoU indsatsen i Danmark kan fokusere på behovet for individuel styring og acceptable variationer i belysningen, da erfaringer fra udlandet tyder på at en simpel individuel styring medfører et væsentlig lavere energiforbrug. Selv belysningsanlæg, der har en betydelig højere installeret effekt end almindelig praksis, giver besparelser, da sådanne anlæg bliver reguleret individuelt efter behov, og derfor ikke er "tændt" året rundt til et fast ensartet niveau. Forskningen viser endvidere at dagslysets karakteristiske dynamik med lys/mørke variation og kontinuert, spektral sammensætning er med til at synkronisere det biologiske ur. Dynamisk lys er et nyt fleksibelt lyskoncept der både kan skifte lysfarve og lysintensitet. Foreløbige forskningsresultater peger i retning af, at dynamisk variation i henholdsvis lysfarve og lysintensitet henover dagen kan stimulere

personers sundhed, komfort og arbejdsglæde. FoU indsatsen i Danmark vil være at koncentrere omkring brug af dynamisk lys for at afdække hvilke muligheder, der vil være for både at integrere energibesparelser med belysningskvalitet og at skabe større komfort og arbejdsglæde. I tillæg vil erfaringerne med dynamisk lys kunne anvendes i fremtidens udvikling af LED-belysningsarmaturer.

Styrings- og reguleringsudstyr

Det seneste årtiers udvikling af HF forkoblinger med dæmpning har gjort det muligt at regulere lysstrømmen fra lysstofrør kontinuert helt ned til 3 % af fuld lysudsendelse (uden flimrer). De højfrekvente belysningsanlæg giver samtidig en elbesparelse på grund af et mindre tab i forkoblingsenheden og et større lysudbytte fra lyskilden. Man skelner mellem to hovedprincipper for styring af den kunstige belysning nemlig ved lysstyring og lysregulering.

De seneste års internationale forskning har vist at design af et godt belysningsmiljø bliver stadig mere komplekst. Traditionelt har den rådgivende branche koncentreret sig om, at belysningsmiljøet skal skabe de rette synsbetingelser for synsopgaven i lokalet og tilgodese den enkeltes behov. Dette skal understøttes af et godt samspil mellem lyset fra vinduerne og lyset fra den kunstige belysning samt fornuftig balance mellem styrken af det anvendte lys, dets placering og retning. Imidlertid tyder meget at den nye internationale forskning på, at fremtidens belysningsmiljø også skal understøtte sundhedsfaktorer, men hvordan dette indarbejdes i selve designet af et godt belysningsmiljø, er endnu uafklaret. Men det vi ved, er at det lys, som har betydning for vor sundhed er forskellig fra det lys som har betydning for vor synsfunktion. Hvilke forhold eller kombinationer af forhold som vil lede til 'optimal' sundhed og velvære kan vi i dag ikke beskrive helt præcist. Dog er det vigtigt at integrere energibesparelser med belysningskvalitet, sundhed og velvære, idet indsatser baseret på her og nu korttidseffekter kan have afgørende sundhedsmæssige langtidseffekter.

FoU indsatsen i Danmark vil være koncentreret om at fremme anvendelsen af energibesparende, stabile og brugervenlige systemer til styring og regulering af belysningsanlæg i kontorer, skoler, institutioner m. fl. ("Det rigtige system til en given anvendelse"). Erfaringer fra FoU-projektet "Funktionssikring af energieffektive lysstyringer" (der anviser metoder til sikring af at lysstyringer opfylder bygherres forventninger og fungerer som det er beskrevet i udbud) har vist, at der er en række barrierer for opnåelse af de forventede energibesparelser og brugerkomfort. Erfaringerne kan relateres til tekniske problemer omkring selve produkterne deres reguleringsfunktioner, indstillingsmuligheder, brugervenlighed og vejledninger. Alle - og sikkert flere til - er problemer, der er begrænsende for opnåelse af energisparepotentialet og som på sigt forhindrer en effektiv brug og udbredelse. Branchen erkender da også at en overvejende del af de eksisterende lysstyringsanlæg ikke fungerer efter hensigten. Set i dette lys, er der således FoU behov for en systematisk undersøgelse af de forskellige systemers tekniske funktioner og energisparepotentiale, en undersøgelse der ikke tidligere er blevet foretaget. Desuden er det vigtigt at FoU indsatsen også fokuserer på at give de projekterende klarhed over, hvilke styringsprincipper, der giver det laveste energiforbrug og den bedste brugerkomfort i forhold til bygningstype og rumkategori.

3.5.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervenes teknologiske udfordringer)

I de senere år er igangsat en række PSO støttede F&U projekter i bestræbelserne på at udnytte LED-teknologien til praktisk anvendelse i belysningsanlæg. Førre i denne udvikling er

DTU Fotonik, Light Sources & Industrial Sensors, som har arbejdet på anvendelse af teorier om lys. Diode Lasers & LED Systems gruppen arbejder med at udvikle belysning, der har en bedre lyskvalitet, farveblanding, kontrol og effektivitet. Dette foregår i gennem deres projekter hvor de samarbejder med de forskellige relevante parter. Eksempler på deres projekter er f.eks. design, udvikling og karakterisering af LED lyskilder og LED lamper til generel belysning som erstatning for gløde- og halogenpærer. Et projekt som havde til formål at udvikle en 3 W hvid diodelyskilde, der kan erstatte 15 W glødepære. Lyskilden har et elforbrug på kun 1,1 W og kan erstatte konventionelle 15W glødepærer. Produktet var udviklet af DTU fotonik, diodelysfirmaet RGB Lamps, lysarmaturproducenten Nordlux samt NESA. DTU fotonik udviklede derefter en diodelyskilde (LED) på 3-6 W, der kan erstatte en 25-40 W glødepære, og der designedes og udvikledes prototyper til hhv. skrivebordslampe og spisebordslampe hvor der traditionelt bruges glødepærer. I forbindelse med projektet blev 10-15 designere uddannet i LED teknologien. Dette foregik i samarbejde med RGB Lamps, Louis Poulsen Lighting Morfoso, Laboriet Lys&Syn, Dong Energy, Jesper Olsen og Christian Flindt Design.

SBi har i samarbejde med byggeerhvervet (projekterende, leverandører og udførende i projektet udgivet SBi-anvisning 220: Lysstyring (Funktionssikring af energieffektiv lysstyring). I dette projekt etableredes et komplet system for beskrivelse, indregulering og afprøvning af lysstyringsanlæg med det formål at sikre, at sådanne anlæg kan fungere i praksis og at de mulige energibesparelser faktisk realiseres. I samarbejde med Dansk Center for Lys og Fotonik, (DTU, Risø) har SBi desuden gennemført projekter der skal bidrage til en hurtig markedsindtrængning af energieffektive LED-armaturer med høj lyskvalitet. Dette mål søges opnået gennem etablering af systematiske kvalitetsvurderingsmetoder, vurdering af en række konkrete armaturer samt opbygning af et mobilt LED-laboratorium, LED-LAB, der tænkes anvendt til demonstration og undervisning af designere, arkitekter, ingeniører, el-selskaber og installatører i anvendelse af LED-løsninger og dermed i at tænke i energieffektive løsninger.

3.5.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

I et følgende angives en liste over byggeerhvervets behov for forskning, udvikling, demonstration og videnformidling, idet de relevante brancher udtrykker stor interesse for at deltage i FoU indsatserne.

Lyskilder

Videreudvikling af styringselektronik, optik, reflektorer til belysningsløsninger der kan erstatte energikrævende belysningsløsninger: glødelamper, halogen spot m.fl. Fokus skal sættes på lyskvaliteten fra disse løsninger.

Belysningssystemer og koncepter

FoU vedrørende udvikling af belysningssystemer baseret på individuelle behov og præferencer. FoU der sigter på at udvikle beregningsmetoder og simuleringsprogrammer der kan beregne dagslysforhold i rum og bygninger og bedre integrere hensyn til dagslyset i den samlede belysningsløsning

Styrings- og reguleringsudstyr

Forskning og udredning, der dokumenterer de faktiske energibesparelspotentialer ved forskellige styrings- og reguleringsystemer

FoU der kortlægger funktionen af styring og regulering for LED-belysning

FoU og demonstrationsprojekter der dokumenterer nye el-effektive belysningsløsninger ud fra helhedsbetragtninger (økonomi, el-forbrug, besparelspotentiale, driftsforhold, komfort m.m.)

3.5.4.1 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter, som beskrevet ovenfor.

3.6 Vandbåret opvarmning og køling

3.6.1 Beskrivelse af delområdet

Eksisterende vandbårne anlæg til opvarmning og køling kan energirenoveres ved fire typer af energirenovering, som hver for sig resulterer i specifikke problemstillinger vedrørende såvel et højt energiforbrug som et dårligt indeklima. Der eksisterer i dag kun få bygninger med 100 % vandbåret køling, hvorimod de fleste bygninger har vandbåret varme (radiatorer og gulvvarme). Der findes anlæg med vandbåret fordeling kombineret med luftkøling (fan coils, kølebafler), som ikke behandles her.

Type 1. Skift til lav-temperatur opvarmning evt. kombineret med høj-temperatur køling. Vandbåren varmesystemer i form af radiatorer og gulvvarme er de mest almindelige i eksisterende bygninger (boliger, kontorer, skoler mm). Virkningsgraden/effektiviteten af opvarmningssystemet kan forøges ved at sænke den temperatur som varmen levers ved. Hvis varmen leveres ved en temperatur der er nærmere på rumtemperaturen reduceres tabene i systemet. Afhængigt af varmekilden kan der ligeledes hentes energibesparelser ved varmeproduktionen. At sænke temperaturen kræver at det varmeafgivende areal forøges eller at varmebehovet sænkes. Tiltaget kan derfor være relevant ved renoveringer hvor varmetabet gennem klimaskærmen sænkes eller ved en renovering af varmeanlægget.

Type 2. Teknisk isolering

Teknisk isolering handler hovedsagligt om termisk isolering af rør, kanaler, dæksler, flanger, armaturer, kedler osv. Isoleringens formål er at minimere uønsket varmetab eller varmetilførsel. Varmetabene fra uisolerede rør kan i mange tilfælde være meget store. F.eks. kan varmetabene fra uisolerede fordelingsledninger med cirkulation til varmt brugsvand i mange tilfælde overstige forbruget af varmt vand. Installationerne isoleres for at hindre unødigt energiforbrug og for at sikre at rumtemperaturen kan reguleres. Installationerne bør isoleres i en grad så varmeafgivelsen herfra ikke på noget tidspunkt medfører temperaturstigninger i rummet på mere end 2 °C.

Type 3. Styling af vandbåret varme og køleanlæg

Der skelnes her imellem central- og rumstyring. Den centrale styring anvendes til at regulere fremløbs vandtemperaturen (eller middelvandtemperaturen) afhængig af udetemperaturen til samtlige rum i en bolig (hus, lejlighed) eller zone i et større byggeri. Systemet består af en styreenhed, udeføler, fremløbs (og evt. returtemperatur) føler, samt eventuelt en rum- eller zone føler. Styreenheden har ofte mulighed for også at styre husets energiforsyning (kedel, varmeveksler, varmepumpe mm) og en eller flere cirkulations pumper og ventiler. Rumreguleringen anvendes til at styre vandgennemstrømningen i de enkelte rum afhængig af rum temperaturen. Dette sker ofte ved en radiatortermostat (radiatorer) eller en væg føler (gulvsystemer, kølebafler, fan-coils, mm). Ved radiatortermostaten reguleres direkte på en radiatorventil der åbner eller lukker for vandet. Ved en vægføler er der enten kabelforbindelse eller trådløs forbindelse til en ventil der kan regulere på vandgennemstrømningen i det pågældende rum.

Type 4. Udskiftning til mere energieffektive komponenter.

Denne løsning omhandler udskiftning af kedler og køleaggregater med moderne og mere energieffektive løsninger som kondenserende kedler, varme pumper, fjernvarme, fjernkøling mm. Udskiftning af pumper til moderne, energieffektive pumper hører også med i denne kategori. Disse udskiftninger kan ofte laves uden at skulle ændre andre dele af varmesystemet. Dog er det ved kondenserende kedler vigtigt at sikre sig en tilstrækkelig lav retur temperatur.

3.6.2 Screening (F&U muligheder)

I forhold til nyt byggeri er den største udfordring og barriere i forbindelse med etablering af lav-temperatur opvarmning at dette kræver større varmegivere eller reduktion af energiforbruget. En forøgelse af radiatorstørrelsen er ofte ikke muligt på grund af pladsmangel især i mindre boliger. En udskiftning til gulvvarme kræver ofte et større indgreb, som installation af en ny gulvkonstruktion, der dog så giver mulighed for at øge isoleringen under gulvet. Med hensyn til gulvvarme er der dog udviklet nye konstruktioner, der kan installeres med meget lille højde (25-50mm), og derfor ofte kan lægges oven på det eksisterende gulv.

Med hensyn til styring har teknologiudviklingen til trådløse systemer gjort en renovering lettere og mindre kostbart.

Foruden teknologiudviklingsmulighederne, der er omtalt i de følgende afsnit eksisterer der også et behov for ny viden, der især er mangelfuld på følgende områder:

- Behov for undersøgelse af hvorvidt individuel temperaturregulering af rum (opvarmning og køling) i lavenergibyggeri er nødvendig og i givet fald hvordan det sikres
- Mere viden om bruger adfærd i bygninger
- Behov for bedre reguleringsmuligheder der evt. kan kompensere for uhensigtsmæssig bruger indflydelse.
- Behov for undersøgelse af bedre metoder til regulering af ventilationssystemet optimalt sammen med vandbårne varme-kølesystemer.
- Behov for undersøgelser af hvorledes øgning og aktivering af bygningsmassen sammen med vandbårne systemer kan opnås ved renovering af bygninger.

SWOT-analyse

Skift til lav-temperatur opvarmning evt. kombineret med høj-temperatur køling

Styrker: Ved at sænke fremløbstemperaturen af vandet til radiatorerne mindskes tabene i rørene. Der vil ligeledes være en forøgelse af virkningsgraden af mange former for varmekilder (gaskedler, oliefyr, solvarme, varmepumper, fjernvarme), når vandet ikke behøver at blive varmet op til så høj en temperatur. Systemet bliver meget fleksibelt med hensyn til valg af energiforsyning.

Svagheder: Hvis fremløbstemperaturen fra varmekilden sænkes og denne også bruges til opvarmning af varmt brugsvand er det nødvendigt at ændre på forholdene omkring opvarmning af varmt brugsvand.

Muligheder: Tiltaget kan være relevant ved renoveringer hvor varmetabet gennem klimaskærmen mindskes f.eks. ved efterisolering. Desuden kan tiltaget bruges i forbindelse med udskiftning af radiatorer eller anden renovering af varmesystemet.

Trusler: Bliver varmetabet fra bygningen minimalt bliver det evt. muligt at klare opvarmningen med ventilationssystemet. Dermed forsvinder brugen af vandbårne systemer. Teknisk isolering

Styrker: Teknisk isolering er et tiltag som vil nedsætte unødigt energiforbrug. I visse tilfælde vil det gøre det lettere at regulere rumtemperaturen

Svagheder: Isoleringen vil øge dimensionerne af de tekniske installationer og øge pladskravene til dem.

Muligheder: Teknisk isolering er relevant i alle bygninger med vandbåret varme eller køleanlæg.

Trusler: Afhængigt af rørføringen i bygningen kan en efterisolering være meget kostbar. Skiftes der til lav-temperatur opvarmning er behovet for en efterisolering mindre.

Styring af vandbåret varme og køleanlæg

Styrker: Rumstyringen anvendes til at sænke eller øge varmetilførslen for at opretholde den rumtemperatur brugeren har indstillet. Rumstyringens formål er således at forøge komforten og nedsætte energiforbruget ved at undgå over opvarmning eller underafkøling.

Centralstyringen anvendes til at sørge for at vandtemperaturen i fordelingsnettet ligger så tæt på rumtemperaturen som muligt men samtidig tilstrækkelig til at kunne tilføre eller fjerne den nødvendige varme fra bygningen (rummet). Da der i dag findes mange typer af trådløse styringssystemer kan installationen ske relativt hurtigt og uden væsentlige indgreb.

Svagheder: Det er vanskeligt at etablere filtrering og en effektiv varmegenvinding, hvorfor energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft er forholdsvis højt. Stiller krav til udformning af bygning og facader.

Muligheder: Der findes en lang række bygninger der ikke har automatisk rumregulering (enten radiatorer med manuelle ventiler eller ældre gulvvarmeanlæg uden rumstyring). Her anbefales det at skifte til en moderne styring.. Den centrale styring kan med fordel udskiftes eller opgraderes således at mulighederne for en energieffektiv nat, weekend, eller ferie sænkning er muligt uden gener for brugeren.

Trusler: Ingen

Teknologiudviklings- og forskningsmuligheder

Opdeles teknologiudviklings- og forskningsmuligheder på henholdsvis lav-temperatur opvarmning, høj-temperatur køling og styring af vandbårne systemer ses følgende behov og muligheder:

Lav-temperatur opvarmning evt. kombineret med høj-temperatur køling

- Udvikling af koncepter og systemer hvor ved energirenovering af bygninger den termiske masse kan aktiveres ved vandbårne systemer for dermed at reducere spidsbelastninger, forskyde varme-kølebehov til andre tidspunkter (natten), anvende vandtemperaturer i nærheden af den ønskede rumtemperatur. Dette kan undersøges i forbindelse med anvendelse af fase skiftende materialer (PCM)
- Vandbårne opvarmningssystemer er meget anvendt, men i fremtiden vil kølebehovet især i ikke boliger sandsynligvis stige (global opvarmning, stigende komfortkrav). Der er derfor et behov for at vurdere mulighederne for at anvende de vandbårne systemer som gulvvarme og bygningsintegrerede systemer til køling.
- Videreudvikling af koncepter og produkter, der ved en energirenovering vil øge varmegiverens størrelse og dermed sænke den nødvendige vandtemperatur.

Styring af vandbåret varme og køleanlæg

- Optimeret styring af kombination af ventilation med vandbåren opvarmning-køling.
- Optimeret styring og hydraulisk koncept af vandbårne køle-varmeanlæg der er integreret i bygningsmassen eller i fase skiftende materialer. Der skal undersøges muligheder for at fjerne varme fra rum med kølebehov (sydsiden) til rum med varmebehov (nord siden).

- Systemer og koncepter der dels kan give feedback til brugeren for at optimere brugeradfærd med hensyn til indeklima og energiforbrug.
- Systemer og koncepter der kan kompensere for uhensigtsmæssig brugeradfærd i relation til indeklima og energiforbrug.

3.6.3 Koblinger mellem forskning/udvikling på universiteter/institutter og de teknologiske udfordringer

Indtil for få år siden tænkte producenterne af produkter til opvarmning og køling kun på enkelt produkter eller komponenter. Denne udvikling fortsætter hvor fabrikanter af cirkulations pumper, kedler, varme-pumper mm forsøger at energioptimere deres produkter. I mange tilfælde i samarbejde med universiteter. De senere år er der en øget interesse og fokusering på systemerne. Og den integrerede indflydelse af bygning og installationer. Her har Universiteterne spillet en større rolle og ved hjælp af dynamiske computer simuleringer kunnet optimere den samlede løsning. Dette har også resulteret i at mange producenter nu satser på at levere hele løsninger og ikke kun komponenter.

Her er der dog med hensyn til energirenovering et behov for at se på den samlede løsning (bygning, opvarmning, køling, ventilation, styring) og ikke kun komponenter (vinduer, pumper, kedler).

3.6.4 Behov og muligheder

Byggebranchens behov for forskning, teknologiudvikling og uddannelse er blevet stærkt forøget i kraft af de skærpede krav til bygningers energiforbrug (EU's EPBD direktiv). Branchen har således fået sat i udsigt, at kravet til energiforbrug vil blive strammet med 25 % hvert 5-10 år – en skærpelse, der vil stille store krav til nytænkning indenfor de omtalte områder.

I renoverede lavenergiboliger vil der være et stort varmeoverskud i sommermånederne og derfor behov for køling. Der er behov for udvikling af løsninger til passiv køling ved brug af jorden som varmesænke i forbindelse med f. eks gulvvarmesystemer. Her kan tilstrækkelig kølingen ofte opnås alene ved brug af en cirkulationspumpe. I kontorbygninger, skoler, detailhandel osv., vil behovet for køling sandsynligvis være endnu større på grund af de interne varmekilder (personer, lys, apparatur mm) og i lav-energi byggeri en manglende afkøling om natten. Her er der gode muligheder for vandbåret køling med bygningsintegrerede systemer. Dette er dog vanskeligt at installere ved bygningsrenovering. Konceptet bør dog ved en renovering overvejes og evt. i forbindelse med anvendelse af fase skiftende materialer (PCM).

Det skønnes at omkring styring ligger der et stort potentiale for en renovering, der kan reducere energiforbruget og samtidig kan garantere et godt indeklima.

3.6.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter og tage udgangspunkt i de omtalte problemstillinger og udviklingsbehov i de foregående afsnit.

3.7 Luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling

3.7.1 Beskrivelse af delområdet

Eksisterende ventilationssystemer i byggeriet kan opdeles i flere forskellige typer, som hver for sig resulterer i specifikke problemstillinger vedrørende såvel et højt energiforbrug som et dårligt indeklima.

Type 1. Infiltration suppleret med naturligt aftræk og udluftning.

Dette er en typisk ventilationsløsning i ældre boligbyggeri især i enfamilieboliger, men ses også i ældre kontorbygninger og skoler. Ventilationen er ukontrollerbar og meget afhængig af udeklimaet med høje ventilationsrater, når det er koldt og blæsende og lavere ventilationsrater i stille vejr. Er der foretaget udskiftning af vinduer og eller andre tætninger er ventilationsraten i perioder ofte for lav, hvilket kan føre til indeklimaproblemer blandt andet med for høj relativ fugtighed. Der opleves ofte trækproblemer ved facaden og eller ved luftindtag. Systemet har ingen varmegenvinding som sammen med et ukontrollerbart luftskifte fører til høje energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften.

Type 2. Naturlig ventilation suppleret med mekanisk udsugning

Dette er en typisk ventilationsløsning i ældre etageboligbyggeri og i nyere enfamilieboliger, hvor mekanisk udsugning i køkken (emhætte) og bad/toilet forbedrer indeklimaet ved at sikre ventilation i perioder med høje belastninger eller i perioder med lave ventilationsrater på grund af et ugunstigt udeklima. Systemet har også problemer med risiko for træk ved facaden og eller ved luftindtag. Systemet har heller ingen varmegenvinding som sammen med et ukontrollerbart luftskifte fører til høje energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften.

Type 3. Mekanisk udsugning med indtag i facaden

Dette er den typiske ventilationsløsning i nyere etageboligbyggeri, som sikrer en konstant ventilationsrate i boligen og som derfor bedre sikrer en acceptabel luftkvalitet. Anlæggene fungerer som sagt med konstant volumenstrøm uden mulighed for at tilpasse luftmængden efter behovet, hvilket både kan resultere i et dårligt indeklima i meget belastede boliger eller i et relativt højt energiforbrug i boliger med få personer pr m². Systemet har de samme problemer med risiko for træk ved luftindtag. Systemet har heller ingen varmegenvinding som fører til relativt høje energiforbrug til opvarmning af ventilationsluften.

Type 4. Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding

Denne løsning ses meget sjældent i eksisterende boligbyggeri, men er meget udbredt i kontorbyggeriet og i nyere skolebyggeri og kan hvis det fungerer korrekt sikre et tilfredsstillende indeklima. Anlæggene fungerer ofte som CAV systemer med konstant luftmængde som giver anledning til et forhøjet energiforbrug især i bygninger med varierende belastninger. Energiforbruget kan ofte også forbedres ved etablering af mere effektiv varmegenvinding, ventilatorer og motorer.

3.7.2 Screening (F&U muligheder)

I forhold til nyt byggeri er den største udfordring og barriere i forbindelse med etablering af effektive ventilationssystemer i det eksisterende byggeri at få plads til aggregater, kanaler og armaturer i bygningen. Det resulterer ofte i ”Storm P” løsninger som energi og indeklimamæssigt ikke er optimale, men som reflekterer det bedste kompromis. Det største udviklingsbehov ligger derfor i udvikling af nye fleksible systemløsninger, der kan tilpasses den aktuelle situation og dermed kan håndtere barriererne.

Foruden teknologiudviklingsmulighederne, der er omtalt i de følgende afsnit eksisterer der også et behov for ny viden, der især er mangelfuld på følgende områder:

- Behov for undersøgelse af luftbåren opvarmning i en ny version både med hensyn til opvarmnings- og ventilationseffektivitet
- Behov for undersøgelse af hvorvidt individuel temperaturregulering af rum (opvarmning og køling) i lavenergibyggeri er nødvendig og i givet fald hvordan det sikres
- Behov for undersøgelse af hvilke reguleringsparametre, der er velegnede for behovsstyring af ventilation (også når bygningen ikke er i brug)
- Behov for undersøgelse af bedre metoder til regulering af luftmængder og balancen i anlægget (uden unødvendigt tryktab til følge) ved behovsstyret ventilation

SWOT-analyser

Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding

Styrker: Med effektiv varmegenvinding er energibehovet til opvarmning af ventilationsluft meget begrænset. Giver mulighed for god kontrol med luftkvaliteten idet mængde og fordeling af udeluft i bygningen kan reguleres i forhold til behovet indenfor snævre grænser og effektiv filtrering kan etableres.

Svagheder: Centrale ventilationsløsninger er problematiske pga. brugernes individuelle behov, præferencer og støjfølsomhed. Er ikke velegnet til udluftning og natkøling, da dette kræver et unødvendigt energiforbrug til transport af luft. Har også el-forbrug til transport af luft i sommerperioden, hvor der ikke er behov for opvarmning/køling af udeluften.

Muligheder: En nødvendighed i alle lavenergibygninger for at opnå et acceptabelt energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft i vinterperioden.

Trusler: Elforbruget til transport af luft er forholdsvis højt. Kræver forholdsvis meget plads til fordelingskanaler og teknikrum i bygningen, hvilket er meget vanskeligt at få plads til ventilationskanaler i et eksisterende byggeri.

Naturlig/hybrid ventilation

Styrker: Behøver intet eller kun et meget lille forbrug af el til transport af luft. Er derfor meget velegnet til udluftning/ventilation i sommerperioden og især natkøling af bygninger med udeluft.

Svagheder: Det er vanskeligt at etablere filtrering og en effektiv varmegenvinding, hvorfor energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft er forholdsvis højt. Stiller krav til udformning af bygning og facader.

Muligheder: Lavenergihuse vil få et større kølebehov i sommerperioden, hvorfor udluftning og natkøling vil blive nødvendig i både boliger og kontorbygninger.

Trusler: Ekstra investeringer i facadeåbninger og styresystemer er nødvendigt.

Teknologi- og forskningsmuligheder

Opdeles teknologiudviklings- og forskningsmuligheder på henholdsvis ventilation og luftbåren opvarmning og køling fremkommer følgende på baggrund af ovennævnte SWOT analyse:

”Balanceret” Ventilation

Der er behov for udvikling af nye fleksible systemløsninger, der kan tilpasses den aktuelle situation og dermed håndtere barriererne. Dette inkluderer:

- Ventilationssystemer med minimal kanalføring i bygningen og/eller i den enkelte bolig gennem en kombination af central/decentrale aggregatløsninger, anvendelse af bygningens rum til transport af luft eller placering af ventilationskanaler udenpå bygningen.
- Kompakte, individuelle ventilationssystemer til boliger i etageboligbebyggelser. Således at ventilation kan etableres i den enkelte bolig og fordelingskanaler i bygningen undgås. Dette vil også kunne sikre en nemmere og dermed bedre behovsstyring af ventilationen
- Kompakte, decentrale ventilationsløsninger til kontor og institutionsbyggeri, der er velegnet til ventilation af et klasseværelse, grupperum i børnehave og/eller et kontorlokale.
- Alternative varmegenvindingsløsninger evt. kombineret med varmepumpeteknologi. Den traditionelle varmegenvindingsløsning med en kryds- eller modstrømsvarmeveksler stille store begrænsninger i forhold til placering af ventilationskanaler i bygningen, hvilke ofte kan være vanskelige eller umulige at opfylde.
 - Behovsstyret ventilation i boliger inklusiv strategi for emhætte. Der skal udvikles nye løsninger til regulering af luftmængde og balance i ventilationsanlæggene ved behovsstyret ventilation, således at der opnås en effektiv el-besparelse ligesom nye styringstrategier for opvarmning og behovsstyring på bolig- og evt. rumniveau skal udvikles. Her er det især vigtigt at udvikle strategier, der kan baseres på et minimum af sensorer.

Luftbåren opvarmning og køling

Der er behov for udvikling af nye strategier og metoder til luftbåren opvarmning og køling, der er tilpasset de ændrede behov, der er i eksisterende bygninger, som har undergået en omfattende energirenovering. Disse omfatter blandt andre:

- Luftfordelingsstrategier og indblæsningsåbninger for luftvarme. Ved energirenovering til passivhusniveau opstår der kraftige reduktioner i effektbehov til opvarmning, der gør det interessant at benytte luftbåren opvarmning. Der er meget begrænsede erfaringer med dette i Danmark og der er behov for udvikling af egnede opvarmningsstrategier og nye indblæsningsarmaturer tilpasset opvarmningsituationen
- Nye indblæsningsdiffusorer til variabel temperatur og luftmængde. Anvendelse af luftbåren opvarmning og køling forudsætter at både luftmængde og indblæsningsstemperatur kan varieres uden af dette påvirker komfortforholdene, hvilket kræver specielt udformede indblæsningsdiffusorer, der også passer til boligformål.
- Hybride ventilationssystemer, der kombinerer effektiv varmegenvinding, behovsstyring og effektiv passiv køling i sommerperioden. Kombinationen af balanceret mekanisk ventilation i perioder med opvarmningsbehov og trækrisiko med naturlig ventilation i sommerperioden, hvor der er et kølebehov er potentielt en meget energieffektiv ventilationsløsning, men kræver yderligere udvikling.
 - Nye metoder og systemer til individuel temperaturregulering af rum (lokale varmeplader, sensorplacering) i renoverede bygninger med luftbåren opvarmning og køling.

- Nye metoder og systemer til udluftning, solafskærmning og natkøling af bygninger (boliger såvel som kontorer), der kan aktiveres også når der ingen er til stede. Især på boligområdet er der behov for udvikling, da køling indtil nu ikke har været en væsentlig funktion i boligbyggeri i Danmark
- Systemer til udnyttelse af bygningens overskudsvarme til forvarmning af udeluft (aktivering af bygningskonstruktion og termisk masse). Kontorbygninger har et varmeoverskud i brugstiden samtidig med at udeluften af komfortensyn behøver forvarmning.
- Bedre og mere effektive systemer til forvarmning/køling af luft i jord. Her tænkes især på reduktion af etableringsomkostninger og sikring af indeklimakvalitet.
- Intelligent og integreret styring med andre tekniske systemer (solafskærmning, naturlig ventilation, udluftning, termisk masse,)

3.7.3 Kobliger mellem forskning/udvikling på universiteter/institutter og de teknologiske udfordringer

Der har i mange år været stor forskel på udviklingsaktiviteterne vedrørende ventilation indenfor kontor/institutionsområdet og indenfor boligområdet. Begreber som luftstrømningsforhold, ventilationseffektivitet og temperatureffektivitet, der anvendes til vurdering af ventilationens kvalitet og effektivitet i kontor/institutionsbyggeri, er stort set ukendte begreber indenfor boligventilation, hvor fokus primært har været på vurdering af ventilationsluftmængder, infiltration og fugtighed.

Især Aalborg Universitet har igennem en årrække gennemført adskillige nationale og internationale projekter vedrørende karakterisering af ventilationens kvalitet og etablering af retningslinier for effektiv anvendelse af mekanisk og naturlig ventilation i kontorer/institutioner og denne viden danner et godt grundlag for udvikling af boligventilationssystemer baseret på tilsvarende begreber.

3.7.4 Behov og muligheder

Byggebranchens behov for forskning, teknologiudvikling og uddannelse er blevet stærkt forøget i kraft af de skærpede krav til bygningers energiforbrug (EU's EPBD direktiv). Branchen har således fået sat i udsigt, at kravet til energiforbrug vil blive strammet med 25% hvert 5-10 år – en skærpelse, der vil stille store krav til nytænkning indenfor de omtalte områder.

I flerfamilieboliger er der behov for udvikling af nye mere individuelle ventilationssystemer, således at kanalføringen reduceres og således at problemer med støj og individuel styring forbedres. Desuden skal der udvikles systemer således at varmegenvinding udnyttes bedre end tilfældet er i dag.

I renoverede lavenergiboliger vil der være et stort varmeoverskud i sommermånederne og derfor behov for udluftning, solafskærmning og natkøling. Der er behov for udvikling naturlige ventilationssystemer kombineret med effektiv udvendig solafskærmning til boliger, der kan sikre passiv køling af bygningen både når beboerne er til stede og når de er væk fra hjemmet, dvs. automatiske systemer, der ikke reducerer bygningens adgangssikring og kan anvendes i kombination med eventuelle mekaniske systemer.

I kontorbyggeri er der især behov for udvikling af mekaniske ventilationssystemer, der kan bidrage til bedre udnyttelse af mulighederne for passiv køling, dvs. kan kombineres med naturlig ventilation, natkøling, effektiv udnyttelse af bygningens termiske masse etc.

Der er også behov for at undersøge om decentrale ventilationssystemer kunne være bedre løsninger end centrale enheder samt hvornår og i hvilke situationer. Decentrale enheder i facaden reducerer behovet for kanalføring i bygningen, hvilket både er pladsbesparende (hvilket er essentielt i forbindelse med renovering af eksisterende bygninger) og reducerer energiforbruget til transport af luft. Decentrale enheder giver en væsentlig simplere decentral behovsstyring. Der ligger imidlertid et stort arbejde i at udvikle effektive og kompakte enheder både hvad angår varmegenvinding, opvarmning, køling, ventilatorer og filtrering. Der findes allerede decentrale produkter på markedet, der kan videreudvikles til at opfylde fremtidens behov.

3.7.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter og tage udgangspunkt i de omtalte problemstillinger og udviklingsbehov i de foregående afsnit.

3.8 Lavenergifjernvarme til lavenergibebyggelser

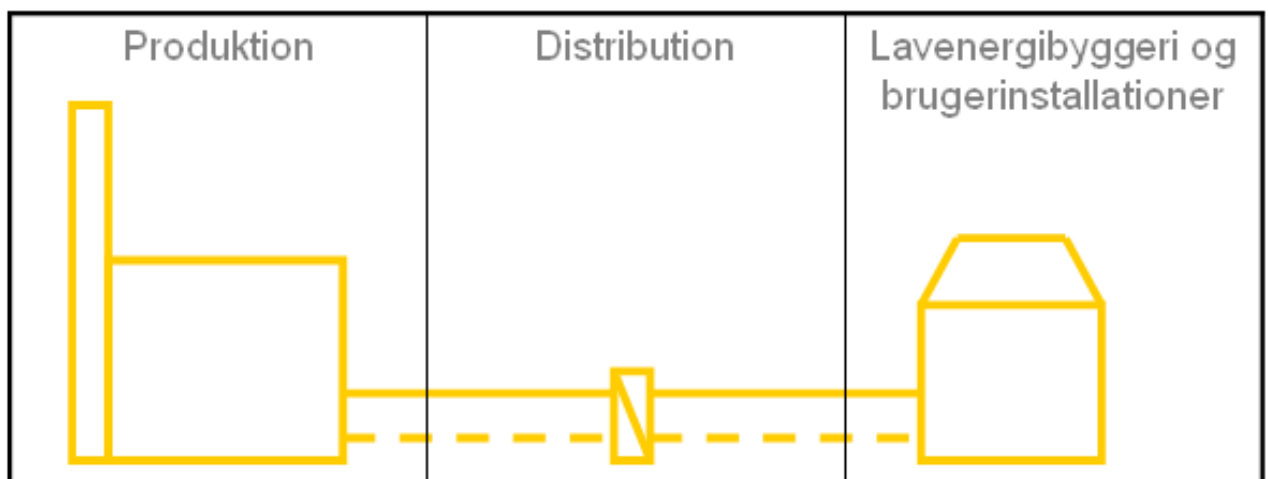
Fjernvarme er en unik fleksibel forsyningsform, der dels kan udnytte spildvarme fra kraftvarme og industrielle processer, dels kan anvende mange forskelligartede brændsler og varmekilder herunder vedvarende energi. Fjernvarme dækker 60% af Danmarks varmeforsyning og forsyner 1,5 mio. boliger hvoraf ca. 700.000 er enfamiliehuse. Omkring 75% af fjernvarmen produceres som kraftvarme med en totalvirkningsgrad for el og varme på over 90 %. Fjernvarme baseret på spildvarme fra affaldsforbrænding og industriel produktion udgør ca. 12 %, men potentialet er væsentligt større. Fjernvarmen er derfor en væsentlig og effektiv del af Danmarks varmeforsyning.

Fjernvarmesystemer opdeles normalt i de 3 delområder:

- Produktion
- Distribution
- Brugerinstallationer

I et veldesignet fjernvarmesystem er der en afbalanceret sammenhæng mellem kundernes varme- og brugsvandsbehov, brugerinstallationerne, ledningsnettets dimensioner og produktionskapaciteten.

Når kundernes varmebehov ændres så radikalt, som det er tilfældet med indførelse af de nye bestemmelser i Bygningsreglementet for **lavenergibyggeri** stiller det nye krav til brugerinstallationers specifikationer og deres samspil med bygningen, ledningsdimensioner i stik- og gadeledninger og til produktionskapaciteten og sammensætningen af den. De nye krav har størst indflydelse i forbindelse med parcelhusbyggeriet.



Varmetab i distributionsnet og brugerinstallationer får i forhold til den afsatte effekt relativt større andel, hvis der ikke gøres op med vanetænkning. Derfor er det i langt højere grad end tidligere nødvendigt at tænke i **integrerede systemer**.

Temperaturniveauet i distributionsnet og brugerinstallationerne er en væsentlig parameter for varmetabet. På produktionssiden bliver potentialet for at udnytte spildvarme større, jo lavere temperatur det er nødvendigt at føre frem i distributionsnettet. For produktion med vedvarende teknologier som varmepumper og solvarme fås ligeledes den højeste effektivitet,

når temperaturniveauet er lavt. Det er derfor interessant at tænke lav temperatur ind i systemerne og definere et nyt begreb: **lavenergifjernvarme**.

Fjernvarmeforsyning af eksisterende byggeri fylder meget i det danske forsyningsbillede og mange af installationerne har efterhånden en alder, hvor de er renoveringsmodne. Når bygninger gennemgår energimæssig **renovering** ændrer dimensioneringsforudsætningerne sig i hele fjernvarmens forsyningskæde. En renovering kan også bestå i en konvertering fra el, naturgas eller olie. I begge tilfælde indebærer det en mulighed for at anvende lavenergifjernvarme.

Da den danske fjernvarmebranche arbejder på en række markeder, der er klimamæssigt forskellige fra Danmark er det vigtigt at lavenergiløsninger også kan tilpasses **internationalt**.

3.8.1 Beskrivelse af delområdet

Lavenergifjernvarme

Med etableringen af de nye decentrale kraftvarmeverker i 80'erne og 90'erne er mange fjernvarmenet udlagt for en fremløbstemperatur på 70°C om vinteren og 60°C om sommeren. Også de ældre værker arbejder med strategier for at sænke temperaturniveauet i nettene uden, at det går ud over forbrugerkomfort og effektiv afkøling. Med lavenergifjernvarme forudsættes der endnu lavere temperaturer i nettene end i dag eksempelvis fremløbstemperaturer ned til 40°C.

Lavenergibyggeri:

Allerede med de nuværende energirammekrav i bygningsreglementet er det dimensionerende varmebehov for enfamiliehuse typisk under 5 kW - for lavenergibyggeri klasse 2 er det omkring 3 kW og for lavenergibyggeri klasse 1 er det ca. 2 kW. De deraf følgende lave fjernvarmeforbrug er en udfordring for totaløkonomien, da traditionel tilslutning til fjernvarme er forbundet med store anlægsomkostninger og store ledningstab. Totaløkonomien vil dog variere meget fra fjernvarmeområde til fjernvarmeområde alt afhængig af tariffer mv. Som konsekvens heraf er der gennemført lovgivning, der kan fritage lavenergibyggeri fra tilslutningspligt.

Brugerinstallationer

De senere år er gulvvarme blevet det dominerende varmefordelingsanlæg i enfamiliehuse, mens der fortsat hovedsageligt installeres radiatoranlæg i etage- og kontorbyggeri. Rigtig dimensionering og indregulering af de varmefordelende anlæg er en forudsætning for god afkøling af fjernvarmefluidet. Lavtemperaturfjernvarme vil forudsætte 2-3 gange større radiatorflade for radiatoranlæg til gengæld reagere radiatoranlægget væsentlig hurtigere end gulvvarme på solindfald og andre eksterne bidrag.

Brugsvandsproduktion baseres på enten varmtvandsbeholdere eller på gennemstrømningsvandvarmere, hvor sidstnævnte har et større effektbehov – især for de mindre anlæg med få brugere. I forhold til de lave dimensionerende varmebehov i lavenergibyggeri bliver brugsvandseffekten relativt større og kommer derfor til at være begrænsende for reduktion af ledningsdimensioner i distributionsnettet. Det er derfor oplagt at kigge nærmere på, hvordan brugsvandseffekten kan reduceres/udjævnes eller hvordan differenstrykket for små ledningsdimensioner overvindes. En fremløbstemperatur på 50°C fra lavenergifjernvarme giver desuden nogle udfordringer mht. til brugsvandstemperatur.

Fjernvarmeinstallationer installeres som direkte anlæg, direkte anlæg med blandesløjfe eller indirekte anlæg. I forbindelse med radiatoranlæg opnås den bedste afkøling normalt med de

direkte systemer. Mindre fjernvarmeinstallationer er udstyret med selvvirkende automatik, mens de større anlæg normalt er udstyret med vejrkompenserende styringer og motorventiler. En del af de mindre tilslutningsanlæg produceres som færdige installationsunits med begrænset termisk isolering. I større bygninger kan vandvarmere og blandesløjfer placeres centralt i bygningens teknikrum eller decentralt i den enkelte lejlighed. I sidstnævnte tilfælde føres fjernvarmen helt op i den enkelte lejlighed og cirkulationsledning til det varme brugsvand kan spares.

Se desuden de øvrige installationsafsnit.

Distributionsnet

Stikledninger til enfamiliehuse er ansvarlige for en stor del af varmetabet i distributionsnettet. De har traditionel bestået af 27 mm rør, men der er de senere år kommet mindre dimensioner og nye rørtyper til som fx twin-rør som qua deres design har væsentligt lavere specifikt varmetab. Små rørdimensioner og –tab er en forudsætning for lavenergifjernvarme.

Produktion

Fjernvarme produceres på baggrund af en række forskellige brændsler/varmekilder og med en række forskellige teknologier:

Kraftvarmeproduktion:

Dampkedler med dampturbine (kul, gas, olie, træ, halm, affald m.fl.)

Gasturbiner (naturgas, biogas, lossepladsgas, m.fl.)

Gasmotorer (naturgas, biogas, lossepladsgas, m.fl.)

I fremtiden sandsynligvis også:

Stirlingmotor (træ, halm, affald m.fl.)

Brændselsceller (naturgas, metanol, brint m.fl.)

Udelukkende varmeproduktion:

Kedler (kul, gas, olie, træ, halm, affald m.fl.)

Solvarmeanlæg

I fremtiden sandsynligvis også:

Varmpumper

Elkedler (”dyppekogere”)

Der pågår i andre sammenhænge en række studier af den overordnede energistruktur- og strategi i Danmark herunder samspillet med det frie el-marked, afgiftsprovener for forskellige brændsler og CO₂-kvotesystemet. Det er alle elementer, som vil være med til at definere fremtidens produktion af fjernvarme og LavEByg følger disse studier nøje.

Integrerede systemer

At tænke i integrerede systemer er en forudsætning for mere effektive fjernvarmesystemer. Det gælder både i forbindelse med lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri, men også i forbindelse med renovering af byggeri og fjernvarmesystemer, hvor det i lige så høj grad er nødvendigt at tage fat på brugerinstallationernes drift.

Internationalisering

I Danmarks forudsættes det at lavenergibyggeri, hvis der skulle opstå et kølebehov langt hen af vejen kan køles naturligt. Under andre himmelstrøg er det langt fra en holdbar

forudsætning og det er derfor nødvendigt at tænke køling med, når lavenergibyggeri skal forsynes med fjernvarme.

3.8.2 Screening

Nedenfor er der foretaget en simpel SWOT-analyse af udvalgte delområder. Analysen tager udgangspunkt i en sammenligning mellem eksisterende fjernvarmeteknologi og teknologi til lavenergifjernvarme. Der er ikke fokuseret på produktion af fjernvarme, som dog i et vist omfang indgår i analysen af lavenergifjernvarme.

SWOT-analyse af lavenergifjernvarme som begreb

Styrker: Lave temperaturer i fjernvarmesystemet giver lavere distributionstab. De lavere temperaturer gør det desuden muligt at udnytte spildvarme ved et lavere temperaturniveau og integrere vedvarende teknologier som solvarme og varmepumper mere effektivt.

Svagheder: De lave temperaturer gør det umiddelbart vanskeligt at opnå høje brugsvandtemperaturer, som i nogle tilfælde vil være påkrævet for at minimere bakterievækst.

Muligheder: Lavenergifjernvarme vil kunne medføre væsentlige energibesparelser i forhold til business as usual. Der er dels et potentiale for nyt fjernvarmeforsynet lavenergibyggeri, men i sagens natur et endnu større potentiale i den eksisterende bygningsmasse i forbindelse med renovering af klimaskærm, brugerinstallationer og distributionsnet.

Trusler: Lavenergifjernvarme er en hel ny måde at tænke fjernvarme på, som stiller krav til aktørernes omstillingsparathed. Det er vigtigt at få konceptet demonstreret i praksis, da branchen er meget fokuseret på referencer og eksemplets magt.

SWOT-analyse af lavenergibyggeri i fjernvarmeforsynede områder

Styrker: Fjernvarmens overvejende styrke er dens evne til at udnytte spildvarme og anden lavværdig energi, som ellers ikke ville kunne udnyttes. Det gør sig selvfølgelig stadig gældende i forbindelse med lavenergibyggeri.

Svagheder: Fjernvarme er forbundet med store investeringer i ledningsnet og løbende varmetab fra distributionsnet, som skal finansieres via de løbende indtægter fra salg af varme. Med det lavere forbrug i lavenergibyggeri og med de nuværende energipriser og teknologier er totaløkonomien meget følsom.

Muligheder: Med udgangspunkt i at det skal være totaløkonomisk forsvarligt ligger der fortsat en række uudnyttede muligheder for at forbedre fjernvarmsystemerne i forbindelse med brugerinstallationer, distributionsnet og produktion. Investeringerne i tilslutningsanlæg til fjernvarme er prismæssigt gunstige i forhold til de teknologier, der ellers forventes anvendt i forbindelse med lavenergibyggeri fx individuelle varmepumper, solvarme og solceller.

Trusler: Ifølge bekendtgørelse 966 om tilslutning m.v. til kollektive varmeforsyningsanlæg, kan enfamiliehuse lavenergibyggeri klasse 1 og 2 fritages for tilslutningspligt til kollektiv forsyning. Det betyder en række planlægningsmæssige udfordringer, da totaløkonomien i fjernvarme hænger nøje sammen med tilslutningsgraden i et område. Det kan også betyde, at

fjernvarme bliver fravalgt i områder, det faktisk ville være økonomi i at forsyne med fjernvarme.

SWOT-analyse af brugerinstallationer til fjernvarme

Styrker: Brugerinstallationerne til fjernvarme består dels af et tilslutningsanlæg, et varmfordelende anlæg og et brugsvandsanlæg. En af fjernvarmens styrker har været forholdsvis simple og driftssikre tilslutningsanlæg. Tilslutningsanlæggene kan benytte de samme varmfordelende anlæg og brugsvandsanlæg som andre typer varmforsyning.

Svagheder: Der har været begrænset fokus på samspillet mellem brugerinstallationer og resten af fjernvarmesystemet. En række af de afkølingsmæssige forbedringer og energibesparelser, der kan opnås på brugerinstallationer er ikke synlige for brugerne, men har stor betydning for fjernvarmesystemets samlede drift. Tilslutningsanlæggene vælges i højere grad på baggrund af pris, end på baggrund af de energimæssige aspekter.

Muligheder: Der er en række muligheder for at forbedre tilslutningsanlæg. Tilslutningsanlæggene kan isoleres bedre end det gøres i dag og vekslere/spiraler til varmtvandsproduktion kan dimensioneres med bedre afkøling for øje. Med henblik på at minimere den nødvendige tilslutningseffekt og den nødvendige disponible trykdifferens kan der udvikles fjernvarmeunits med mulighed for effektudjævning/varmeakkumulering. I den forbindelse skal der udvikles styringer og reguleringer, der sikrer effektudjævning i samspil med det varmfordelende anlæg og brugsvandsinstallationerne. Der er fordele og ulemper ved hhv. radiatoranlæg og gulvvarmeanlæg, men også nogle muligheder for at optimere og eventuelt kombinere disse anlæg i samspil med tilslutningsanlægget.

Trusler: Anlægsomkostninger til brugerinstallationer er en konkurrenceparameter, hvor fjernvarmeværkerne har begrænset indflydelse på dels deres dimensionering og deres indregulering.

SWOT-analyse af distributionsnet

Styrker: Distributionsnet er forudsætningen for fjernvarme og den høje forsyningssikkerhed. Tilslutningspligt er medvirkende til at opnå et effektivt distributionsnet.

Svagheder: I områder med lav energitæthed udgør varmetab til stik- og gadeledninger en i forhold til forbruget høj andel.

Muligheder: Der er en række muligheder for at mindske tabene i distributionsnettene. En af de væsentligste muligheder er reduktion af ledningsdiameteren. Forudsætningen herfor er at der sker en effektudjævning og/eller boostning i forhold til de enkelte brugerinstallationer. Der er også en række muligheder i at udvikle nye netdesigns, driftsstrategier og traceringer.

Trusler: Som for brugerinstallationerne er der fokus på anlægsomkostninger, men også driftsomkostningerne skal holdes nede af hensyn til totalomkostningerne.

SWOT-analyse af integrerede systemer

Styrker: Det integrerede systems styrke er, at brugerinstallationerne fra starten af optimeres til i samspil med bygningen at kunne levere de energioptimale driftsbetingelser for distribution og produktion. Der arbejdes indefra og ud og i modsætning til tidligere får brugerinstallationerne en hel central placering.

Svagheder: Der kan ligge et fordyrende element i denne form for energirigtig projektering, men er de rette værktøjer til stede og er betingelserne alment integreret i byggeprocessen kan der være et pænt besparelspotentiale at hente på driftsomkostningerne.

Muligheder: En forudsætning for velintegrerede systemer er, at de nødvendige fjernvarmeunits og distributionssystemer er tilgængelige. I forbindelse med lavenergifjernvarme til nyudstyknings er det desuden muligt at der skal ske en sektionering i forhold til det øvrige net og, at der skal suppleres/forsynes med vedvarende energikilder. I alle tilfælde er der en række muligheder for at forbedre de eksisterende måder at projektere på.

Trusler: Det er en stor opgave at løfte, at få vendt praksis i forbindelse med projektering. Eksempelvis er der mere end 400 fjernvarmeværker i Danmark, der alle mere eller mindre har deres egne tilslutningsbetingelser.

3.8.3 Koblinger

En stor del af den forståelsesbaggrund vi har for energieffektiv fjernvarmedrift i dag er baseret på forskningsprogrammerne EFP-Fjernvarme og Nordisk Energiforskningsprogram, som støttede en række forskningsprojekter i 1980'erne og 1990'erne.

Projekterne "Fjernvarmeforsyning af lavenergiområder", EFP-2001 og "Varmeforsyning af nye boligområder - konsekvenser af de nye energikrav til nyt byggeri", EFP-2005 har i de senere år beskæftiget sig med fjernvarmeforsyning af lavenergiområder herunder ledningsdimensionering til lave forbrug, men i forhold til forholdsvis traditionelle driftstemperaturer og -strategier.

I forhold til lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri har DTU-BYG i forbindelse med et eksamensprojekt: "Integrerede fjernvarmesystemer til lavenerghuse", undersøgt forskellige aspekter, herunder systemer med dimensionerende fremløbstemperaturer ned til 50°C med lovende totaløkonomi.

Eksamensprojektet er videreført i EFP07-projektet "Udvikling og demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri" (projektledelse Teknologisk Institut). Konceptet baseres på en udjævning af varmebelastningerne gennem anvendelse af en buffertank i lavenergibygningen, lave temperaturer i fjernvarmenettet, samt mindre rørdimensioner opnået ved større differenstryk end hidtil anvendt.

Yderligere demonstration af konceptet er igangsat i EUDP-projektet "CO₂-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in EnergyFlexHouse and Boligforeningen Ringgården"

Dansk Fjernvarmes F&U-konto medfinansierer en række mindre ofte meget praktisk orienterede udviklingsprojekter herunder senest projektet "Ultra lavtemperatur fjernvarme i nye områder" med COWI A/S, som aktør. Teknologisk Institut arbejder ligeledes i regi af

Dansk Fjernvarmes F&U-konto i et projekt med titlen ”Værktøjer til energimærkning og vurdering af brugerinstallationers energieffektivitet”, som sætter fokus på brugerinstallationers afkølings- og isoleringstekniske standard.

I regi af det Internationale Energi Agenturs program for fjernvarme- og køling, inkl. kraftvarme, er der gennemført projekter vedr. fjernvarmeforsyning af områder med lav varmetæthed, IEA Annex VIII ”District Heating Distribution in Areas with Low Heat Demand Density”. Projektet analyserer belastninger i og driftsstrategier for områder med lav varmetæthed samt metoder til at reducere omkostninger til og varmetab fra fjernvarmenet, samt undersøger mulighederne for at erstatte husholdningernes elforbrug til f.eks. vask og tørring med fjernvarme. Dansk Fjernvarmes F&U-konto understøtter en videreførelse af IEA-projektet i projektet ”Omlægning af husholdningers elforbrug til fjernvarme” (Teknologisk Institut i samarbejde med Fjernvarme Fyn o.a.).

I IEA Annex IX (2008-2011) gennemføres projekter om CO₂-reduktion gennem øget anvendelse af fjernvarme, anvendelse af varmelagre til forbedret interaktion mellem fjernvarmenet og lavenergibygninger. Projektet ”District Heating for Energy Efficient Building Areas” viderefører dele af Annex VIII-projektet ang. belastninger og varmebehov i nye bygninger, og det vil analysere central kontra decentral anvendelse af vedvarende energikilder (solvarme, varmepumper), samt analysere afgrænsningen mellem fjernvarme og individuel varmeforsyning.

”Low resource district heating” (”Lav ressource fjernvarme”) er et projekt under EUDP 2008, der har til formål at reducere brændselsforbrug og CO₂-emission ved anvendelse af omkostningseffektiv og intelligent fjernvarme sammen med fornybare energiressourcer. Konceptet demonstreres i en ny bebyggelse i Brædstrup, hvor solvarmeanlæg indgår dels i decentrale, integrerede tagløsninger, og dels i centrale jordplacerede solfangerfelter, og hvor lavenergibygninger kan købe og sælge varme til et fjernvarmenet.

Ph.D projekt med titlen ”Optimal Building Integration of District Heating Substations”, som udføres i regi af Strategisk Forskningscenter for CO₂-neutralt byggeri, støtte fra Det Strategiske Forskningsråd.

Den europæiske teknologiplatform for fjernvarme- og fjernkøling - DHC +

3.8.4 Behov og muligheder

En række behov og muligheder i forbindelse med fjernvarme er blevet afdækket i forbindelse med 2 workshops i netværket. Den første workshop fokuserede på nybyggeri, den anden på renovering. Selvom, der er forskel på de 2 situationer vil mange af behovene og mulighederne være de samme.

Behov

Politisk behov - Danmark/Verden

Der er et behov for at der politisk bakkes op omkring fjernvarmen både på hjemmemarkedet, men også på eksportmarkederne. Dansk fjernvarmeindustri vækstmuligheder er på eksportmarkederne.

Standardiserede løsninger

Bedre standardisering, som fremmer de energieffektive fjernvarmeløsninger, men også giver mulighed for at tilpasse disse løsninger til eksportmarkederne.

Modulbaseret fjernvarmesystem

Et modulbaseret fjernvarmesystem, som kan sammensættes ud fra forskellige behov, men som sikrer et integreret system. Herunder fx små forsyningsenheder (moduler) med vedvarende energi, der forsyner ny udstykning. Evt. med mulighed for senere at koble til større forsyningsnet.

Rådgivnings- og leverandørplatform

Skabelse af en fælles platform for, hvordan et effektivt fjernvarmesystem skal etableres.

Nytænkning omkring normer fx effektbehov til varmt brugsvand

Modsvarende effektbehovene defineret i fx vandnormen (som i dag i højere grad er en vejledning) dagens behov?

Løsninger for større bygninger og klyngehuse

Der er meget fokus på enfamiliehuse, men de større bygninger er også relevante

Nye løsninger i forbindelse med distributionsnet

Herunder analyse af fx:

Cirkulationsledning til brugsvand, hvis lavt varmekonsum
Central buffer til flere husstande + placering af beholderen
1-strengede net til større områder
Lægning af ledninger i forbindelse med nybyggeri

Tariffer, der fremmer energirenovering i fjernvarmeområder

Er det den faste afgift, der er barriere for renovering af bygninger i fjernvarmeområder eller er det i højere grad andre barrierer? I snit er den faste afgift 34 % af den samlede forbrugsafregning, men det varierer meget fra område til område. Begrænsede muligheder for at ændre den faste afgift med nuværende lovgivning. Der er også afskrivning på kedler og varmepumpeanlæg, men det glemmes ofte i diskussionen om den faste afgift på fjernvarme. Lovgivning, der pålægger afgift på fjernvarme, som så bliver tilbagebetalt som tilskud til energirenovering kan være en model, der kan fremme energirenovering i fjernvarmeområder.

Løsninger til renovering af boligforeninger

Vanskeligt at få lavet vidtgående energisparetiltag i boligforeninger. Det er forbrugernes penge og der renoveres kun til det lovbestemte. Samlet renovering af ledningsnet og boliger, så installationer passer til lavtemperaturdrift og forudsætningen for energieffektiv renovering af ledningsnet er til stede på sigt. I en del bebyggelser med bygninger spredt i terræn indføres og afregnes fjernvarmen ét sted i bebyggelsen. Fordelingsledninger mellem bygninger er ofte i en dårlig isoleringsstand og ledninger i bygningerne kan ligge i svært tilgængelige ingeniørgange. Direkte indføring af fjernvarme med moderne ledninger i de enkelte bygninger kan i disse tilfælde medføre væsentlige besparelser. Det er også muligt at føre fjernvarmen helt op til den enkelte lejlighed og afregne der – lejlighedsunits ("Flat Stations"). På den måde spares bl.a. tab til cirkulationsledning mv.

Skift fra fokus på afkøling til fokus på returtemperatur

Der har de senere år været fokus på afkøling, selvom det i virkeligheden ville være bedre at fokusere på returtemperaturen, da det er den, der har betydning for effektiviteten på produktionsstedet. Der er behov for nye modeller til at optimere og fordele udgifter relateret til høj returtemperatur på fornuftig vis.

Modeller for ESCO og fjernvarmeselskaber

Skal/kan fjernvarmeselskaber gå ind og være ESCO i forhold til drift af installationer?
Hvordan kan konceptet skrues sammen?

Effektiv gas til fjernvarmekonvertering

Der er en udfordring i at konvertere fra gas til fjernvarme i områder, hvor der har været en løbende udskiftning af gaskedler – det kan tage tid, at få fuld tilslutning.

De nye fjernvarmeområder skal udlægges med øje for renovering af bygningsmassen og nutidige varmtvandsbehov, så der ikke bliver lagt for store stikledninger ned.

De første gasledninger forventes at være tilbagebetalt ca. 2014.

Solvarme og solceller sammen med fjernvarme

Tiltag på fjernvarmeområdet, hvor der indgår solenergi, bør koordineres med solgruppen i LavEByg-netværket. Kan solceller på taget i fjernvarmeområder være med til at give den miljørigtige signalværdi, som ”usynlig” fjernvarme har så svært ved at vise?

Lavenergi-huse uden fjernvarme vil have et elforbrug til opvarmning, som kan være direkte elopvarmning eller el til forsyning af varmepumper – løsningerne kan være suppleret med solvarme eller solceller og i visse tilfælde også være i stand til at levere energi tilbage til nettet. Ved hjælp af varmelagring kan dette elforbrug gøres fleksibelt. Der kan være et behov for at sammenligne alle disse løsninger i detaljer inkl. elnetsomkostninger med rene fjernvarmeløsninger.

Udnyttelse af overskudsvarme fra nye kilder – 2-vejsfjernvarme

Overskudsvarme fra supermarkeder, mindre industri, individuelle solvarmeanlæg mv. kan blive energikilder, der i fremtiden skal levere varme til fjernvarmenettet.

Der er behov for at kunne indpasse og regulere alle disse teknologier i fjernvarmenet på en optimal måde inkl. afregning mv.

Muligheder

Mulighederne er beskrevet i forbindelse med screeningen.

Barrierer

Forskellige barrierer for udbredelse af nye løsninger for lavenergifjernvarme til lavenergi-byggeri er identificeret:

Hovedledninger skal tinglyses på grund

Afregningsforhold for nye udstykninger

Ved nyudstyknings skal alle fjernvarmeværker lave plan for forsyning

Overdimensionering pga. af tradition og sikkerhed.

Fritagelse fra tilslutningspligt ved lavenergi-huse.

Fjernvarme kan være besværligt at tage stilling til for bygherre fordi det er kollektivt.

Individualister kræver individuelle løsninger.

3.8.5 Fokusområder

Fokusområderne for de relevante forskningsinstitutioner vil være baseret på tidligere og igangværende FoU projekter og tage udgangspunkt i de omtalte problemstillinger og udviklingsbehov i de foregående afsnit.

3.9 Solvarme- og solcelleanlæg

3.9.1 Beskrivelse af delområdet

Delområdet omfatter varme og elektricitet der produceres ved hjælp af solindfaldet på bygningens matrikel. Delområdet omfatter ikke passiv solvarme, som er en integreret del af selve bygningen.

Delområdet omfatter følgende udvalgte anlægstyper:

Solvarme:

brugsvandsanlæg

kombianlæg (rum- og brugsvandsopvarmning)

forvarmning af ventilationsluft

solkøling

Solel (solcelleanlæg):

nettilsluttede anlæg

direkte drift af applikationer

I forbindelse med energirenovring af bygninger til lavenergiklasse niveau forventes solenergi at få en meget central rolle, dels fordi det ofte ikke er teknisk/økonomisk muligt at nå det ønskede lave energiniveau uden solenergi, og dels fordi installation af solvarme og solceller ofte er lettere end andre energibesparende tiltag.

Mange teknologier indenfor solenergi er kendte og gennemprøvede. Men der er stadig brug for en forskningsmæssig indsats for at forbedre pris/ydelsesforholdet for kendte teknologier og for at udvikle nye teknologier specielt tilpasset renovering.

Solvarme

Solvarme dækker i dag mindre end 1% af opvarmningsbehovet i Danmark. Den typiske anvendelse af solvarme er brugsvandsopvarmning, kombineret rum- og brugsvandsopvarmning og centrale solfangerfelter i kombination med fjernvarmenet. Forvarmning af ventilationsluft udnyttes kun i mindre grad, og der er næsten ingen solkøleanlæg.

De fleste solvarmeanlæg har i dag plane solfangere med et eller to dæklag og en selektiv absorber. Solfangerne er typisk monteret uden på taget eller på stativer. Varmen fra solfangerne føres til et korttidslager typisk i form af en tank med vand.

Solel

Solel dækker i dag mindre end 0,1% af elforbruget i Danmark, hvilket er langt under EU gennemsnittet. De fleste solcelleanlæg er i dag opbyggede som nettilsluttede anlæg, hvor en vekselretter/inverter omformer dc-strømmen fra solcellepanelerne til 230V ac, som direkte kan anvendes i bygningens elnet. I tilfælde af overproduktion sendes den overskydende el ud på det offentlige net. Der findes færre anlæg til direkte drift af applikationer – f.eks. ventilatorer og pumper i solvarmeanlæg. En undtagelse er de populære solcelledrevne luftsolfangere, som især sælges til fritidshuse i stor stil.

Solcellepaneler består i dag mest af krystallinske (mono- eller polykrystalinske) solceller eller amorfe solceller fremstillet af silicium. Disse solceller bliver ikke produceret i Danmark, men

indgår i dansk fremstillede moduler. En ny 3. generation af solceller PEC (Photo Electro Chemical) og polymér solceller er ved at blive udviklet. Her deltager Danmark i forsknings- og udviklingsarbejdet. Desuden er en bred vifte af andre solcelletyper og produktionsprocesser under udvikling internationalt. Solcellerne er enten paneler, der er monteret på stativer, eller integreret i tage eller facader. Solceller i vinduer eller semitransparente partier vinder desuden stigende udbredelse.

Prisen for solceller bestemmes i dag udenfor Danmarks grænser, og er nu atter faldende efter en periode med prisstigninger p.g.a. flaskehalse i produktionen.

3.9.1.1 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

Nedenfor er der foretaget en SWOT-analyse for de 6 anlægstyper nævnt under 2.6.2.1. Dette danner grundlag for fastlæggelsen af behov og muligheder i det efterfølgende afsnit 2.6.2.3.

SWOT-analyse af Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Styrker: Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning kan dække det meste af det årlige energibehov til varmtvandsopvarmning. Energibesparelsen for solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er normalt stor, da det eksisterende energianlæg kan slukkes i sommerperioden, hvor energieffektiviteten for dette anlæg er lav. Det er en kendt og afprøvet teknologi.

Svagheder: I dag for høj varmepris til at sikre stor udbredelse. Behov for en back-up-varmekilde i vinterhalvåret. For lille kendskab til teknologien blandt brugere og installatører. I dag ofte add on teknologi i stedet for en integreret del af bygningens klimaskærm og integreret del af energianlægget.

Muligheder: Mulighed for forbedring af prisydelsesforholdet. Mulighed for bygningsintegration og integration med hele energianlægget.

Trusler: Andre opvarmningskilder vælges i stedet – f.eks. varmepumper eller opvarmning via fjernvarmenet med centralt placeret solfangerfelt.

SWOT-analyse af Solvarmeanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning

Styrker: Ofte forholdsvis store varmebehov i solrige perioder. Kendt teknologi.

Svagheder: I dag for høj varmepris til at sikre stor udbredelse. Faseforskydning mellem solindfald og varmebehov = brug for lagring over længere tid. Behov for en back-up-varmekilde i vinterhalvåret. For lille kendskab til teknologien blandt brugere og installatører. I dag ofte add on teknologi i stedet for en integreret del af bygningens klimaskærm og bygningens energianlæg.

Muligheder: Mulighed for forbedring af prisydelsesforholdet. Mulighed for bygningsintegration og for integration med hele energianlægget. Mulighed for stor dækning af rumopvarmningsbehovet

Trusler: Andre opvarmningskilder vælges i stedet – f.eks. varmepumper, elopvarmning, gas, fjernvarme, da der alligevel er behov for en back-up-varmekilde.

SWOT-analyse af Solvarmeanlæg til forvarmning af friskluft

Styrker: Enkel og billig teknologi. Let at integrere i klimaskærmen f.eks. i forbindelse med udvendig efterisolering. Kan udformes som opholdsareal i sommer og overgangsperioderne.

Svagheder: Ringe solindfald når der er størst behov for forvarmning af den friske luft = beskeden ydelse pr. m².

Muligheder: Kan anvendes sammen med naturlig ventilation, hvor der normalt ikke er varmegenvinding. Mulighed for bygningsintegration og flere funktioner.

Trusler: Mekanisk ventilation med varmegenvinding.

SWOT-analyse af Solkøling

Styrker: Sammenfald mellem max solindfald og max kølebehov. Stigende kølebehov i kontorbygninger, hvis der ikke sættes ind med effektiv solafskærmning og reduktion af den interne varmebelastning. Forventning om stigende kølebehov i bygninger med serverrum.

Svagheder: Lavere effektivitet og større anlæg end ved mekanisk køling. I dag dårlig økonomi. Lille kendskab til teknologien.

Muligheder: Nye kølemetoder. Køling og opvarmning med samme anlæg.

Trusler: Højeffektive mekaniske køleanlæg. Samme type køleanlæg drevet af spildvarme (fjernvarme).

SWOT-analyse af Nettilsluttede solcelleanlæg

Styrker: Elforbrug i bygninger reduceres nødvendigvis ikke som følge af lavere opvarmningsbehov. Der vil derfor være behov for egenproduktion af el, hvis hele bygningens energiforsyning skal dækkes af vedvarende energi. Kendt og afprøvet teknologi. Simpel indgreb i bygningen. Godt samspil mellem sol-el og vind-el. Prisen for solel reduceres løbende. I praksis eneste mulighed for lokal elproduktion med VE i byområder.

Svagheder: I dag høj solel-pris og dårlige afregningsvilkår sammenlignet med mange andre lande. Solceller er typisk en add on teknologi og ikke en integreret del af byggekomponenter. For lille kendskab til teknologien blandt brugere. Ringe dansk indflydelse på prisen på solceller. Afhængig af stabilt elnet.

Muligheder: Mulighed for bygningsintegration. Mulighed for at solceller bliver en naturlig del af byggekomponenter. Mulighed for kombination med UPS anlæg. Faldende priser på solceller som følge af forøget produktionskapacitet og rationalisering. Stigende elpriser (slutbruger)

Trusler: Vind-el og el fra brændselsceller installeret i bygningen. Forringede vilkår for nettilslutning og afregning. Forbud mod reflekterende tagflader. Konkurrence med solvarme om den bedste placering.

SWOT-analyse af Solcelleanlæg til direkte drift af applikationer

Styrker: Intet tab i en inverter/vekselretter, da strømmen anvendes direkte i f.eks. dc-motorer. Prisen for solcelle reduceres løbende. Sammenfald mellem produktion og forbrug ved nogle applikationer – f.eks. pumper i solvarmeanlæg og ventilatorer til reduktion af overophedning. Kan være billigere at installere, da der ikke kræves nettilslutning.

Svagheder: I dag høj solcelle-pris. Ikke så mange anvendelsesmuligheder – lille område. Brug for transformer til 230V ac-nettet, hvis applikationerne også skal køre, når solen ikke skinner.

Muligheder: Muligheder for udvikling af applikationer, der fungerer optimalt ved direkte solcelle-drift. Ideel sammen med et dc-net i bygningen, samt i forbindelse med køleanlæg.

Trusler: 230V ac-nettet – herunder nettilsluttede solcelleanlæg.

Overordnet set er der brug for en forbedring af pris/ydelsesforholdet for både solvarme- og solcelleanlæg samt for en arkitektonisk god integration af disse i bygningerne. Der er også brug for afklaring af de problemer, der kan opstå i eksisterende byggeri, når en stor del af energiforbruget dækkes via solenergi.

Der er desuden brug for en udbredelse af kendskabet til disse teknologier – både i form af uddannelse af ingeniører, arkitekter, mm, og i form af en generel og bred forøgelse af vidensniveauet i det danske samfund.

3.9.1.2 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologisk udfordringer)

På solvarmeområdet – brugsvands- og kombianlæg samt anlæg til forvarmning af friskluft - har der igennem de sidste mere end 30 år foregået forskning og udvikling på vidensinstitutionerne (primært DTU og TI) i samarbejde med industrien vedr. forbedring af pris/ydelsesforholdet for solvarmeanlæg, udvikling af nye typer anlæg, bedre forståelse af anlæggenes virkemåde, udvikling af simuleringsprogrammer til optimering af solvarmeanlæg mm. Dette arbejde har dog på grund af vigende bevillinger været reduceret i de seneste 8 år, og har de senere år primært foregået på DTU. Der findes allerede meget viden indenfor området, viden som direkte kan anvendes som grundlag for nærværende strategi.

I Danmark er der ikke meget ekspertise vedrørende solkøling. Et igangværende IEA projekt, Task 38 om solkøling har dog dansk deltagelse ved Ellehauge & Kildemoes, TI, PlanEnergi og AC-Sun. Deltagelse i dette forskningssamarbejde kan få stor betydning for udviklingen og udbredelsen af solkøling i Danmark.

I Danmark foregår der allerede udvikling/produktion af silicium til krystallinske solceller, forskning i PEC- og polymér solceller, udvikling/produktion af invertere/vekselretter. Der sker desuden forskning/udvikling/produktion/demonstration indenfor bygningsintegration af solceller – både i tage, facader, vinduer og som solafskærmning. Der er gennemført mange projekter indenfor bygningsintegration af solceller med deltagelse af vidensinstitutioner (primært TI og SBI), rådgivere og producenter/importører. Denne forskning vil danne et vigtigt udgangspunkt for den foreslåede indsats indenfor bygningsintegrering af solcellesystemer.

TI har deltaget i et internationalt samarbejde om karakterisering af solcelleanlæg med varmeudnyttelse, såkaldte PV/T anlæg, og har gennemført målinger på en del forskellige

konstruktioner. Der er desuden indhentet mange erfaringer med direkte solcelledrift af kompressorer til køleformål, erfaringer som vil kunne bruges i forbindelse med decentrale kølesystemer i bygninger.

3.9.1.3 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning er i dag en velkendt teknologi, og der er opnået stor viden om, hvordan denne type anlæg optimeres. Dette er dog ikke slået igennem i industrien – primært på grund af ringe styktal, hvorfor traditionelle løsninger vælges. Der er dels behov for yderligere forskning/udvikling for at udvikle og optimere anlæggene, dels en stimulering af markedet til at efterspørge anlæg med bedre pris/ydelses forhold.

Kombinerede solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning er kendt teknologi i forbindelse med traditionelle bygninger med højt energiforbrug og specielt sammen med biomassekedler. Anlæggene kan dække hele varmebehovet i forårs- og sommerperioder. Der er behov for at udvikle solfangere, der kan pine mere varme ud af solen i fyringssæsonen, at udvikle varmelagre med stor temperaturlagdeling, at udvikle anlæg med forbedret samspil med de supplerende energikilder, at udvikle styresystemer til optimeret, integreret styring af solvarmeanlæg, bygning og anden opvarmningskilde, mm. Der kan udvikles solvarmeanlæg med intelligente varmelagre, som både kan opvarmes af solvarme og el fra nettet i perioder med billig el. Vandvolumenet, som opvarmes af el, er variabelt og tilpasses ved hjælp af et avanceret styresystem baseret på vejrudsigter det forventede varmebehov og den forventede solvarmeproduktion.

Der er behov for udvikling af sæsonvarmelagre til solvarmeanlæg, så solvarmeanlæg kan dække bygningers varmebehov fuldstændigt. En lovende mulighed er smeltevarmelagre med et stabilt underafkølede salthydration. Disse lagre kan teoretisk set lagre varme tabsfrit i langvarige perioder.

Der er behov for udvikling af simple systemer til solforvarmning af friskluft i forbindelse med naturlig og hybrid ventilation. Systemer med højere ydelse og lavere trykfald end i dag. Systemer der billigt og enkelt kan integreres med den øvrige klimaskærm.

For solcelle og solvarme er der i det hele taget brug for forskning/udvikling i integration i bygning og konstruktioner, så solenergi bliver en naturlig teknologi, der skal vælges fra og ikke til. Det skal være let at indpasse både solvarme og solceller i tage og facader uden at det skæmmes bygningen, der bør bl.a. udvikles et fælles montagesystem.

Dc-net i bygninger parallelt med 230 V ac-nettet vil være en fordel for solcellepanelerne direkte kan kobles til dette net uden invertere. Dc-net i bygninger kan på sigt reducere brugen af transformere til dc-applikationer og dermed lede til store el-besparelser. Der bør derfor forskes/udvikles indenfor dette område.

3.9.1.4 Fokusområder

Fokusområderne for F&U for de deltagende vidensinstitutioner i netværket kan passende baseres på de styrkeområder, de hver især besidder fra bl.a. tidligere udførte F&U-projekter. Fokusområdet for kernepartnere i LavEByg kan være:

DTU Byg: optimering af brugsvands- og kombinerede solvarmeanlæg med fokus på avancerede varmelagre, solfangere, styresystemer og komplette solvarmeanlæg.

TI: analyse af kombinationen solvarmeanlæg og andre opvarmningssystemer, integreret styring af solvarmeanlæg, bygning og andre forsyningsformer, forvarmning af friskluft, solkøling, bygningsintegrering af solcelle og solvarmeanlæg samt dc-net.

SBi: bygningsintegration af solceller og solvarmeanlæg.

AAU: solforvarmning af friskluft i kombination med naturlig og hybrid ventilation.

XX: Arkitektonisk og byggeteknisk koordinering af solcelle- og solvarmeanlæg

Solceller til drift og styring af solvarmeanlæg

Optimering af solvarme, varmepumper og solceller i kombination

4 Forslag til projekter

Strategiarbejdet har identificeret en række behov og muligheder for forskning og udvikling af løsninger til lavenergirenovering af eksisterende bygninger. Dette er udmøntet i en række projektforslag, som der kortfattet er redegjort for nedenfor. Der er i nogen grad indikeret hvilken projekttype der er tale om; forskning, udvikling, demonstration mv.

4.1 Hele bygningen

Intelligent styring af lavenergirenoverede bygninger

I forbindelse med vidtgående energirenovering, hvor varmetabet sænkes markant, opstår et behov for kontrol af indeklimaet med samtidig optimal udnyttelse af varmetilskud via intelligent styring. Intelligente lavenergirenoverede bygninger er bygninger hvor aktive og passive anlæg for opvarmning, køling, ventilation, solafskærmning, sollysstyring, el-lysstyring samt forsyningsløsninger styres intelligent. Det vil sige styring af solafskærmning, natventilation og opvarmning af den termiske masse i bygningsdele mm, baseret på en detaljeret model for bygningens indeklima og energiforbrug på timebasis og indlæsning af vejrudsigter for de næste 24 timer. Typisk kan denne styring opdeles i to perioder for ikke-boliger: i drift og ude af drift. Der foretages en kontrol af bygningens funktion på basis af målte vejrdata og faktisk brug af bygningen. Hvert døgn får man således baseret på timesimuleringer af hvert rum en kontrol på om bygningen virker som ønsket eller om der er adfærdsproblemer eller teknikproblemer, som selvfølgelig rettes straks. På basis af de ”erfaringer” modellen opnår på basis af sammenhæng mellem planlagte styringer og målte resultater justeres strategien. Modellen er altså selvlerende og dermed intelligent. Med systemet kombineres vejrudsigt baserede styringer og Continuous Commissioning i en samlet intelligent bygning. Renoveringerne skal selvfølgelig projekteres i en integreret designproces, hvor de samme modeller kommer ind som afgørende for rationelle beslutninger.

Produktudvikling af system- og pakkelsninger

Der har været vanskeligt at få gang i omfattende energirenovering af eksisterende bygninger, hvor der ligger et stort energisparepotentiale, hvilket primært skyldes at det er for dyrt/håndværkertungt og besværligt at realisere. Der behov og muligheder for at løse op på begge disse barrierer til gavn for byggeerhvervet og bygningsejerne. Gennem udvikling af helhedsorienterede systemløsninger sikres en direkte billiggørelse via mere industrialiserede løsninger/produkter. Ved f.eks. systemløsninger til klimaskærmsrenovering kan sikres en indirekte billiggørelse via en mere energieffektiv sammenbygning af bygningsdele i f.eks. klimaskærmen og dermed mere energibesparelse for pengene sammenlignet med tilsvarende individuelle løsninger. Gennem udviklingen af metoder til udarbejdelse af pakkelsninger eller ”full-service” renoveringskoncepter og demonstration heraf, bliver det nemmere og mere sikkert at realisere energirenovering. Pointen er at man hjælper, især småhusejere med at lave en design og beslutningsproces, som kan udføres af grupper af projekterende og udførende, så der tilvejebringes et konkret forslag til totalrenovering inkl. pristilbud, finansiering og styring af udførelsen.

Metoder til langsigtet planlægning af drift, vedligehold og renovering

Dette omfatter også metoder til vurdering af bygningsdeles levetid. Der er behov for mere langsigtede planer for drift, vedligehold og renovering. Klimaskærmsrenovering foretages f.eks. ofte etapevis, nye vinduer et år og facaderenovering måske 5 år efter, hvilket ikke er optimalt i forhold til f.eks. vinduesindbygning. En langsigtet planlægning vil også bedre kunne synliggøre om en eventuel nedrivning og nyopførelse på et tidspunkt samlet set vil være mest attraktiv. Behovet og mulighederne omfatter også udvikling af et bedre beslutningsgrundlag via metoder til økonomiberegninger baseret på opdeling i udgifter til

nødvendigt arbejde set ud fra et vedligeholdelsessynspunkt og udgifter til ”ekstra” arbejde som er energirelateret.

Brugeradfærd

Brugeradfærden har stor betydning for energiforbrug og indeklima ved energirenovering. Flere studier har for eksempel vist, at brugeradfærden kan påvirke energiforbruget med over 300 %. Der er kun meget begrænset viden om adfærdsændringer i forbindelse med implementering af fysiske energisparetiltag. Der er derfor et behov for mere viden, også om brugeradfærdens betydning og hvad der er hensigtsmæssig brugeradfærd. Information og vejledning om energi- og indeklimarigtig adfærd kan sikre maksimale energibesparelser og optimalt indeklima. Mere viden om brugeradfærd og udformning af vejledninger mv. til bygningsejere og brugere kan hjælpe byggeerhvervet med at holde hvad de lover mht. effekt af energirenovering, hvilket forretningsmæssigt er særdeles vigtigt.

4.2 Isoleret klimaskærm

Pakkeløsninger til vidtgående klimaskærmsisolering af småhuse

Mange husejere foretager i dag ofte renovering etapevis efterhånden som der er økonomi til det, hvilket ikke er optimalt. Der er behov for at udvikle og demonstrere en tekniske lavenergi systemløsninger på kombinerede facade-, vindues-, tagrenovering til de mest typiske kategorier af småhuse. Da erfaringerne viser at arkitekturaspektet er vigtigt og at nye facader ikke er højt prioriteret hos den almene husejer vil der i projektet være fokus på at vise husejere og håndværkere m.fl., at en gennemgribende klimaskærmsrenovering kan udføres med stor æstetisk kvalitet, en rimelig økonomi og stor energibesparelse mv. Som del af den samlede pakkeløsning til husejeren er der behov for fokus på følgende aspekter: Visualisering af effekten af renoveringen (arkitektur, dagslys, indeklima mv.), Revitaliseringsplan (helhedsplan) – langtidsplan for modernisering af huset, der optimerer husejerens økonomi i forhold til ønsker/behov for renovering/modernisering og ønske om en potentiel gevinst ved salg i form af et mere attraktivt hus skal indgå i helhedsplanen, driftsaspektet – løbende sikring af husets energi- og indeklimamæssige ydeevne svarende til projekteret mv. Det er vigtigt at løsninger demonstreres og dokumenteres - og helst i stor skala.

Tagelementer til energirenovering af parcelhuse

I huse med udnyttet tagetage kan det være problematisk at foretage en god efterisolering. Der er ofte kun plads til en meget beskeden isolering ved skråvægge og etablering af dampspærre er svært. I mange tilfælde vil det være billigere at skifte hele tagkonstruktionen, og i den forbindelse er det oplagt at levere det nye tag i form af præfabrikerede elementer inkl. kviste, dagslyselementer mv. Formålet er at udvikle præfabrikerede elementer til tagrenovering inkl. kviste, dagslyselementer mv., der sikrer en optimal løsning når taget på et gammelt hus skal udskiftes. Ved at udvikle præfabrikerede løsninger sikres det at både fastgørelse og efterisolering foretages korrekt.

Højisolering af eksisterende flade tage med indbygget mulighed for udtørring

Flade tage på 60'ernes og 70'ernes parcelhuse er typisk kun isoleret 70-100 mm mineraluld svarende til en U-værdi på 0,50 - 0,35 W/mK. Der er behov for at udvikle højisolerede efterisoleringsløsninger til eksisterende flade tagkonstruktioner med indbygget intelligens i form af sensorer mv. til registrering af kritiske fugtforhold og automatik til udbedring i form af udtørring. De arkitektoniske aspekter af at øge tykkelsen af tagkonstruktionen skal adresseres. Økonomisk set er udvendig isolering af flade tage traditionelt lønsomt, idet der ofte kun er ekstra udgifter til isolering, da tagdækningen ofte skal udskiftes alligevel, og i nogle tilfælde vil energibesparelsen ved merisolering dog også kunne finansiere den nye

tagdækning. Projektet vil undersøge økonomien i de nye højisolerende løsninger med mulighed for udtørring.

4.3 Energivinduer

Optimal vinduesindbygning til renovering

Installation af vinduer og det i BR08 påbudte krav om linietafblæk bliver der generelt ikke taget hensyn til i byggeriet, når detaljen omkring ydervæggens isolering og vinduets placering fastlægges og derfor indbygges vinduer ofte med for stort linietafblæk. Der er derfor behov for en indsats for optimering af linietafblæket ved indbygning af vinduer i forbindelse med efterisolering, herunder brug af forskudt fals løsninger som f.eks. er udbredt i Tyskland. Der er generelt en ny udfordring med fastgørelse af vinduerne i de meget lette konstruktioner i form af udvendige efteriseringsløsninger, hvor isoleringen fastgøres direkte til den eksisterende ydervæg. Mange bygnings-/husejere fortager ofte renovering skridtvis, nye vinduer et år og facaderenovering måske 5 år efter, hvilket er problematisk i forhold til optimal vinduesindbygning. Desuden er der et særligt behov for at dyrke løsninger til indbygning af tagvinduer og ovenlys med lille linietafblæk. Der er behov for at udvikle en række principløsninger på indbygning af vinduer i forbindelse med udskiftning af facadevinduer og udskiftning/etablering af tag- og ovenlysvinduer, så de opfylder relevante krav til f.eks. linietafblæk, fastgørelse samt dagslys. Et særligt aspekt drejer sig om tilslutningerne kan forberedes for konsekvenser af en efterisolering, f.eks. at man ønsker at flytte vinduet ud i facaden.

PlusEnergivinduer uden udvendig kondens

Med dagens 2-lags energiruder er der mange steder problemer med udvendig kondens. Dette problem bliver ikke mindre efterhånden som vinduer med 3-lags energiruder vinder indpas. DTU beregninger viser at 3-lags energiruder med U-værdi på 0,6 W/m²K tredobler antallet af timer med udvendig kondens. Udvendig kondens kan reduceres ved at reducere varmeudstrålingen fra yderglasset i form af forskellige former for afskærmning som tagudhæng, solafskærmning, skodder, træer eller nærliggende bygninger eller brug af glas med en hydrofil belægning. Det er især på boligområdet, at der er behov for løsninger til at undgå udvendig kondens, da f.eks. kontorbyggeri typisk har udvendig solskærmning, som effektivt kan benyttes til at undgå udvendig kondens. Der er behov for at anvise/udvikle løsninger til boliger til minimering af omfanget af udvendig kondens ved brug af højisolerende vinduer med 3-lags energirude. Indsatsen bør lægges på to områder: 1) Belægninger til minimering af udvendig kondens og 2) Skodde løsninger til minimering af udvendig kondens og reduktion af varmetab om natten. Fordelen ved (nat)skodder er dobbelt, idet de også oplagt kan fungere som mobil isolering til reduktion af varmetabet om natten. Skodeløsninger kan i dag styres automatisk, hvilket er afgørende for at løsningen kan fungere og indfri sit energisparepotentiale.

PlusEnergivinduer som koblede løsninger med indbygget solafskærmning

Ældre eksisterende vinduer som for eksempel dannebrogsvinduer og lignende kan det ikke altid betale sig at bevare/renovere. Til erstatning af disse gamle småsprossede vinduer er der behov for holdbare og energimæssigt fremtidssikrede løsninger som f.eks. 1 + 2 koblede vinduer med to lavemissionsbelægninger og optimale glasafstande for argon i forseglede rude og eventuelt solafskærmning i åbent hulrum. Erfaringerne med disse løsninger er overordnet at der ikke er problemer med støv og kondens og da 1+2 løsningerne har klare fordele i form af bedre levetid og pladsmulighed for at indbygge solafskærmning synes det som en attraktiv løsning. Det er derfor projektets formål er at udvikle højisolerende koblede vinduesløsninger

til erstatning af gammel småsprossede vinduer. Der er mange udenlandske erfaringer med sådanne løsninger (særligt Sverige) som kan inddrages i udviklingen.

Vinduesudformning og -orientering til fremtidens lavenergihuse

Lavenergihuse bygges i dag primært med store glasfacader mod syd, og næsten ingen vinduer mod nord. Men det er vigtigt at sikre gode dagslysforhold i alle rum, uanset orientering. Samtidigt er det vigtigt at have fokus på vinduets energimæssige egenskaber (energibalancen). Fremtidens huse vil have et væsentligt mindre varmetab/-behov, hvilket vil resultere i en kort opvarmningssæson med kun varmebehov i de koldeste måneder. I de koldeste måneder på året er solindfaldet begrænset og består i vid udstrækning af diffust lys. Dette retter mere fokus på en lavere U-værdi frem for et større solindfald. De nye betingelser har nogle interessante konsekvenser, idet beregninger indikerer at vinduesorienteringen i typiske boliger er omtrent uden betydning for den energimæssige ydeevne. Hvis der samtidig er tale om Plusvinduer med en positiv energibalance på årsbasis kan vinduesarealet øges og altså fastlægges uden hensyntagen til orientering. Da det har lille konsekvens at skærme for solen i en kort varmesæson, men modsat vil være nødvendig i sommerperioden for at opnå et acceptabelt indeklima i lavenergihuse, vil det umiddelbart være relevant at se nærmere på brug af solafskærmende glas i boliger. Moderne solafskærmende glas er optimeret mht. lys/g-værdi og har en fin lysgennemtrængning. Glassene kan fås med mange variationer af g-værdien. Projektet har til formål at gøre op med normal praksis ved at udarbejde grundlag for nye retningslinjer for vinduesudformning i fremtidens lavenergihus.

Tagvinduer og ovenlys med positivt energitilskud og solafskærmning

Tagvinduer til skråtage og ovenlys til flade tagkonstruktioner er gode lysgivere og bør spille en positiv rolle i forbindelse med fremtidens lavenergi nybyggeri og renovering, men det forudsætter at de har passende energimæssige egenskaber, der er egnet til lavenerginiveau, hvilket i vid udstrækning ikke er tilfældet i dag. Det skal dog bemærkes at tagvinduer og ovenlys alt andet lige har bedre energitilskud end facadevinduer, da solindfaldet er større, så det retfærdiggøre til dels en højere U-værdi. Analyserne bør inddrage solafskærmning, således at der undgås overophedning. Et særligt problemområde er ovenlysvinduer (ovenlyskupler). Projektet har til formål at foretage detaljerede analyser for udvikling af tagvinduer og ovenlysvinduer med passende energimæssige egenskaber til lavenerginiveau. Dette kunne for eksempel være ovenlys med 3-lags ruder (evt. 1+2, 2+2) el. lign. I projektet bør der ikke alene fokuseres på vinduernes energimæssige egenskaber, men også solafskærmning, da denne er vigtig i forhold til indeklimaet – overophedning mv. Der bør analyseres flere slags solafskærmninger, da der kan være forskel på hvilken løsning der er optimal for henholdsvis tagvinduer og ovenlysvinduer.

Solafskærmning – dynamiske vs. Stationære

En optimal solafskærmning skærmer effektivt for solen, men tillader godt udsyn gennem vinduet, samtidigt med at der sikres gode dagslysforhold således at elforbruget til belysning forekommer lavt. Ydermere bør solafskærmning tillade udnyttelse af passiv solvarme da dette mindsker varmebehovet. For at solafskærmning forekommer attraktiv er det et krav at økonomien til anskaffelse og vedligehold holdes på et minimum. For opfyldelse af de nævnte karakteristika er det relevant at fokusere på skodder og solceller i lag i facaden som en helhedsløsning for dynamisk solafskærmning, samt glaslameller med reflekterende belægning til afskærmning og dirigering af lys. Formålet er at udvikle en optimal solafskærmning mht. brugervenlighed, æstetik samt energiproduktion. I projektet bør der foretages detaljerede analyser for at klarlægge fordele og ulemper ved stationær solafskærmning vs. dynamisk.

4.4 Glasfacader og –tage inkl. solafskærmninger

Designviden og lavenergibyggeri (udredning)

Udvikling af værktøj til støtte for arkitekter i skitsefase af lavenergibyggeri (FoU)

Dobbeltfacader, udvikling af simuleringsværktøj (FoU)

FoU konsortium for multifunktionelle facader (FoU)

Integreret regulering af multifunktionelle glasfacader (FoU)

Comissioning (videnformidling)

4.5 Belysning

Lyskilder

Videreudvikling af styringselektronik, optik, reflektorer til belysningsløsninger der kan erstatte energikrævende belysningsløsninger: glødelamper, halogen spot m.fl. Fokus skal sættes på lyskvaliteten fra disse løsninger.

Belysningssystemer og koncepter

FoU vedrørende udvikling af belysningssystemer baseret på individuelle behov og præferencer. FoU der sigter på at udvikle beregningsmetoder og simuleringsprogrammer der kan beregne dagslysforhold i rum og bygninger og bedre integrere hensyn til dagslyset i den samlede belysningsløsning.

Styrings- og reguleringsudstyr

Forskning og udredning, der dokumenterer de faktiske energibeparelsespotentialer ved forskellige styrings- og reguleringsystemer. FoU der kortlægger funktionen af styring og regulering for LED-belysning. FoU og demonstrationsprojekter der dokumenterer nye el-effektive belysningsløsninger ud fra helhedsbetragtninger (økonomi, el-forbrug, besparelsespotentialer, driftsforhold, komfort m.m.).

4.6 Vandbåret opvarmning og køling

Lav-temperatur opvarmning evt. kombineret med høj-temperatur køling

Udvikling af koncepter og systemer hvor ved energirenovering af bygninger den termiske masse kan aktiveres ved vandbårne systemer for dermed at reducere spidsbelastninger, forskyde varme-kølebehov til andre tidspunkter (natten), anvende vandtemperaturer i nærheden af den ønskede rumtemperatur. Dette kan undersøges i forbindelse med anvendelse af fase skiftende materialer (PCM).

Vandbårne opvarmningssystemer er meget anvendt, men i fremtiden vil kølebehovet især i ikke boliger sandsynligvis stige (global opvarmning, stigende komfortkrav). Der er derfor et behov for at vurdere mulighederne for at anvende de vandbårne systemer som gulvvarme og bygningsintegrerede systemer til køling.

Videreudvikling af koncepter og produkter, der ved en energirenovering vil øge varmegiverens størrelse og dermed sænke den nødvendige vandtemperatur.

Styring af vandbåret varme- og køleanlæg

Optimeret styring af kombination af ventilation med vandbåren opvarmning-køling.

Optimeret styring og hydraulisk koncept af vandbårne køle-varmeanlæg der er integreret i bygningsmassen eller i fase skiftende materialer. Der skal undersøges muligheder for at fjerne varme fra rum med kølebehov (sydsiden) til rum med varmebehov (nord siden).

Systemer og koncepter der dels kan give feedback til brugeren for at optimere brugeradfærd med hensyn til indeklima og energiforbrug.

Systemer og koncepter der kan kompensere for uhensigtsmæssig brugeradfærd i relation til indeklima og energiforbrug.

4.7 Luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling

Balanceret” Ventilation

Der er behov for udviklingsprojekter vedr. nye fleksible systemløsninger, der kan tilpasses den aktuelle situation og dermed håndtere barriererne. Dette inkluderer:

Ventilationssystemer med minimal kanalføring i bygningen og/eller i den enkelte bolig gennem en kombination af central/decentrale aggregatløsninger, anvendelse af bygningens rum til transport af luft eller placering af ventilationskanaler udenpå bygningen.

Kompakte, individuelle ventilationssystemer til boliger i etageboligbebyggelser. Således at ventilation kan etableres i den enkelte bolig og fordelingskanaler i bygningen undgås. Dette vil også kunne sikre en nemmere og dermed bedre behovsstyring af ventilationen

Kompakte, decentrale ventilationsløsninger til kontor og institutionsbyggeri, der er velegnet til ventilation at et klasseværelse, grupperum i børnehave og/eller et kontorlokale.

Alternative varmegenvindingsløsninger evt. kombineret med varmepumpeteknologi. Den traditionelle varmegenvindingsløsning med en kryds- eller modstrømsvarmeveksler stille store begrænsninger i forhold til placering af ventilationskanaler i bygningen, hvilke ofte kan være vanskelige eller umulige at opfylde.

Behovsstyret ventilation i boliger inklusiv strategi for emhætte. Der skal udvikles nye løsninger til regulering af luftmængde og balance i ventilationsanlæggene ved behovsstyret ventilation, således at der opnås en effektiv el-besparelse ligesom nye styringstrategier for opvarmning og behovsstyring på bolig- og evt. rumniveau skal udvikles. Her er det især vigtigt at udvikle strategier, der kan baseres på et minimum af sensorer.

Luftbåren opvarmning og køling

Der er behov for udvikling af nye strategier og metoder til luftbåren opvarmning og køling, der er tilpasset de ændrede behov, der er i eksisterende bygninger, som har undergået en omfattende energirenovierung. Disse omfatter blandt andre:

Luftfordelingsstrategier og indblæsningsåbninger for luftvarme. Ved energirenovierung til passivhusniveau opstår der kraftige reduktioner i effektbehov til opvarmning, der gør det interessant at benytte luftbåren opvarmning. Der er meget begrænsede erfaringer med dette i Danmark og der er behov for udvikling af egnede opvarmningsstrategier og nye indblæsningsarmaturer tilpasset opvarmningssituationen

Nye indblæsningsdiffusorer til variabel temperatur og luftmængde. Anvendelse af luftbåren opvarmning og køling forudsætter at både luftmængde og indblæsningstemperatur kan varieres uden af dette påvirker komfortforholdene, hvilket kræver specielt udformede indblæsningsdiffusorer, der også passer til boligformål.

Hybride ventilationssystemer, der kombinerer effektiv varmegenvinding, behovsstyring og effektiv passiv køling i sommerperioden. Kombinationen af balanceret mekanisk ventilation i perioder med opvarmningsbehov og trækrisiko med naturlig ventilation i sommerperioden, hvor der er et kølebehov er potentielt en meget energieffektiv ventilationsløsning, men kræver yderligere udvikling.

Nye metoder og systemer til individuel temperaturregulering af rum (lokale varmeplader, sensorplacering) i renoverede bygninger med luftbåren opvarmning og køling.

Nye metoder og systemer til udluftning, solafskærmning og natkøling af bygninger (boliger såvel som kontorer), der kan aktiveres også når der ingen er til stede. Især på boligområdet er der behov for udvikling, da køling indtil nu ikke har været en væsentlig funktion i boligbyggeri i Danmark

Systemer til udnyttelse af bygningens overskudsvarme til forvarmning af udeluft (aktivering af bygningskonstruktion og termisk masse). Kontorbygninger har et varmeoverskud i brugstiden samtidig med at udeluften af komfortensyn behøver forvarmning.

Bedre og mere effektive systemer til forvarmning/køling af luft i jord. Her tænkes især på reduktion af etableringsomkostninger og sikring af indeklimakvalitet.

Intelligent og integreret styring med andre tekniske systemer (solafskærmning, naturlig ventilation, udluftning, termisk masse,)

4.8 Fjernvarme

Designkoncept/systemløsning/guidelines for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri. Med udgangspunkt i et integreret design af produktion, distribution og brugerinstallationer udvikles et koncept/systemløsning/guidelines for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri med de tilhørende varme-, brugsvands- og evt. kølebehov.

Varmedelende anlæg og brugsvandssystemer til lavenergibyggeri

Hvilke krav stiller lavenergifjernvarme til varmeanlæggene i lavenergibyggeri? Både radiatorløsninger og gulvvarmeløsninger kan være relevante. I lavenergihuse er der ikke længere problemer med kuldenedfald ved vinduer og temperaturgradienterne er generelt små. Det betyder at radiatorerne kan placeres på nye måder i boligen. Lavtemperatursystemer vil desuden stille specielle krav til radiatorerne, når der skal opnås bedst mulig afkøling for

mindst mulig pris. For gulvvarme bliver temperaturforskellen mellem rum og gulvoverflade væsentlig mindre end den er i dag. Det betyder at gulvvarmeanlæggene i princippet kan blive selvregulerende.

Unitløsning til lavenergibyggeri

Udvikling af unitløsning, der i samspil med det varmfordelende anlæg og brugsvandssystemet kan levere de optimale betingelser for lavenergifjernvarme med lavest mulige tab til følge. Herunder udvikling/analyse af:

Avancerede stylinger fx baseret på ”Grey box” (stokastiske matematiske modeller)
Udjævning af varmtvandsforbrug
Perfekt lavdeling i beholdere
Muligheder for boosterpumpeløsning i forbindelse med store forbrug

Billiggørelse af rør og anlæg

Der skal fortsat være fokus på optimering og billiggørelse rør og anlæg herunder:

Rørtyper (dobbeltrør, tripplerør, æggeformede mv.)
Rørstørrelser (Stikledningsdimensioner ned til fx ø10)
Rørmaterialer
Isoleringsmaterialer
Holdbarhed/Driftstemperaturer
Lægning
Færre reklamationer

Tarifstrukturer til lavenergibyggeri

Analyse af følsomhed for tilslutning i nyudstykket område med lavenergi huse og for lavenergiudstyknings i eksisterende fjernvarmeområder. Tarifstrukturer, der gør det attraktivt at afstå fra at koble sig fra forsyningsnettet.

Energirenovering af byggeri tilsluttet samme gadeledning kan laves som en samlet pakke

Konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri kan også anvendes i forbindelse med renovering af eksisterende distributionsnet fx ved at alle huse på samme gade energirenoveres samtidig med at ledningsnet renoveres og evt. sektioneres.

Brugerinstallationer til levering af både varme og kulde

Hvordan skal en brugerinstallation se ud, der både skal levere kulde og varme, hvis forsyningen er baseret på fjernvarme? Spørgsmålet er aktuelt for en række af eksportmarkederne for fjernvarmeteknologi.

Fjernkøling

Gennem en lovændring er det nu muligt at oprette fjernkøleforsyning i Danmark, og flere projekter er under udarbejdelse, bl.a. i København. Både løsninger med central køleproduktion og distribution af koldt vand, og decentral køleproduktion i absorptionsvarmepumper i de enkelte bygninger er mulige.

Nye anvendelser for fjernvarme, f.eks. hvor fjernvarme erstatter elektricitet. Som tidligere nævnt er der allerede påbegyndt et arbejde vedr. anvendelse af fjernvarmebaserede vaske-, og opvaskemaskiner, tørretumblerer samt absorptionskølemaskiner. Udover de miljømæssige

perspektiver i at erstatte el med fjernvarme er der også nogle driftsmæssige fordele ved at kunne holde liv i nettet på tidspunkter, hvor der ellers ikke er stort forbrug.

Udvikling og demonstration af renoveringsløsninger til fjernvarmeforsynet etagebyggeri
Løsninger til renovering af boligforeninger.

Nye forretningsmodeller for energibesparelser i fjernvarmeforsynede bygninger
Modeller for ESCO og fjernvarmeselskaber.

4.9 Solvarme- og solcelleanlæg

Optimering af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Den igangværende forsknings/udvikling indenfor optimering af solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning fortsættes for at opnå bedre pris/ydelsesforhold. Solfanger- og beholderfabrikanter informeres løbende. I takt med stramningen af energirammerne forsøges markedet påvirket til at efterspørge mere optimale solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.

Udvikling af ”vintersolfangere”

Der bør forskes i solfanger, der er bedre til at udnyttes solen i fyringssæsonen. Disse solfanger tilpasses specielt til kombinerede solvarmeanlæg til rum- og brugsvandsopvarmning for at øge dækningsgraden ved rumopvarmning. Varmetabet minimeres og den optiske karakteristik optimeres for disse solfanger.

Solvarmeanlæg med sæsonvarmelagring

Forskningen bør fokuseres på udvikling af smeltevarmelagre med stabil underafkøling. Med disse varmelagre kan solvarme lagres fra sommer til vinter, således at solvarmeanlægget kan dække varmebehovet fuldstændigt.

Bygningsintegration af solfanger

Her fokuseres på to områder: a) design af solfangersystemer til integration i bygninger og b) undersøgelse af bygningsudformninger velegnet til vintersolfangere.

Vedr. a): Der fokuseres på udvikling af systemer til arkitektonisk god integration af solfanger i tagflader. Specielt udvikling af design og montageprincipper, hvor solfangeren dels udgør en del af klimaskærmen, dels hvor fordelingen af arealet mellem solfanger, solceller og traditionel klimaskærm er ”flydende”,

Vedr. b). Her tænkes primært på integration af ”vintersolfangere” der skal have en stor hældning for at kunne udnytte vintersolen. Hvis disse solfanger ikke skal stå på stativer løftet op fra taget, er det nødvendigt at indtænke ”vintersolfangere” i bygningsdesignet. Der udvikles gode løsninger for kombineret design af bygninger og solfanger.

Optimering af kombinerede solvarmeanlæg

Parallelt med forskning/udvikling af ”vintersolfangere” optimeres den samlede udformning af kombinerede solvarmeanlæg for at opnå størst muligt dækningsgrad med mindst mulig lager. Specielt bør der forskes i varmelagre med stor temperaturlagdeling.

Analyse af samspil mellem solvarmeanlæg og andre forsyningsformer

Med mindre der udvikles tabsfrie lagre, er det nødvendigt med en back-up varmekilde til solvarmeanlæg – både til brugsvands- og kombianlæg. Ved brugsvandsanlæg vil der typisk være en anden opvarmningskilde til dækning af rumopvarmningsbehovet. I forbindelse med kombianlæg, konkurrerer solvarmeanlægget med andre forsyningsformer. Der er derfor behov

for at gennemføre et udredningsprojekt, der belyser fordele og ulemper ved kombination af kombinerede solvarmeanlæg og andre forsyningsformer som varmepumper, gas, fjernvarme, elopvarmning – ved det sidste bør også undersøges, om lageret i solvarmeanlægget med fordel kan udformes, så overløbsel fra vindmøller anvendes som back-up varmekilde.

Integreret styring af kombinerede solvarmeanlæg

For at sikre en høj dækningsgrad med solvarme samtidigt med et godt indeklima er det nødvendigt med et optimalt samspil mellem solvarmeanlæg, andre opvarmnings-/energiformer og bygningen. Der er derfor behov for udvikling af intelligente, integrerede styresystemer der kan sikre et lavt energiforbrug samtidig med en høj dækningsgrad med vedvarende energi.

Udvikling af solforvarmning af frisk luft

Elforbruget i lavenergibygninger kan reduceres betydeligt ved at anvende naturlig eller hybrid ventilation. Men det øger varmetabet fra bygningen, idet der i dag ikke anvendes varmegenvinding i forbindelse med naturlig og hybrid ventilation. Forvarmning ved hjælp af solen kan nedbringe dette varmetab. Der skal udvikles effektive luftsolfangere med lille tryktab samt forskes i anvendelse af glastilbygninger, dobbeltfacader, mm. som varmekilde i forbindelse med ventilationssystemer.

Forskning/udvikling indenfor solkøling

Den igangværende forskning/udvikling af varmedrevet køling (absorption, sorption, adsorption, vanddamp, ...) skal tilrettes det tilgængelige temperaturniveau, som er muligt at opnå med solvarmeanlæg. Der skal udvikles køleanlæg med høj effektivitet samtidigt med, at solvarmeanlæggets effektivitet bibeholdes på et rimeligt niveau. Der skal specielt fokuseres på at forbedre prisydselsforholdet.

Udfærdigelse af katalog for eksisterende løsninger til bygningsintegration af solceller

Der findes allerede i dag kommercielle løsninger for bygningsintegration af solceller. Markedet er dog uoverskueligt, så det er svært at finde de rigtige løsninger. Der bør derfor gennemføres et udredningsprojekt, der screener markedet for løsninger, således at der kan opbygges et katalog af løsningsmuligheder, som dels direkte kan anvendes til udvælgelse af en egnet løsning i et konkret byggeprojekt, dels anvendes som inspirationskilde til den fortsatte udvikling af bygningsintegrerede solcelleløsninger.

Udvikling af integrationsløsninger for solceller i bygninger

Den igangværende forskning/udvikling af gode løsninger for bygningsintegration af solceller fortsættes – bl.a. på baggrund af ovenstående katalog. Der udvikles installations- og monteringsystemer, hvor ikke blot solceller, men også solfangere, vinduer, vægge og tage kan indgå. Der skal arbejdes med integration af solceller i tage, vægge og vinduer samt som solafskærmning. Der fokuseres på løsninger, hvor solceller ikke mere er add on's med indgår som en integreret del af byggekomponenterne, således at solceller bliver en feature, der skal vælges fra og ikke til. Arbejdet bør omhandle alle type af solceller: krystallinske, amorfe og de nye typer som CIS, CdTe, mikrokrystallinske osv, og på længere sigt 3. generations solceller (PEC og polymér hvis de kan opvise tilpas levetid).

Der bør desuden udvikles mindre skyggefølsomme solcelleanlægssystemer, så træer og nabobygninger ikke får katastrofal indflydelse på ydelsen.

Direkte drevne solcelleapplikationer i bygninger

Der bør igangsættes forskning/udvikling vedr. mulige applikationer for solceller der ikke er tilsluttet elnettet. For eksempel findes der i dag kun meget mangelfuld dokumentation vedrørende de udbredte solcelledrevne ventilationsanlæg, som især sælges til fritidshuse, men måske kunne anvendes bredere. Forslaget hænger naturligt sammen med det tidligere punkt vedrørende forvarmning af ventilationsluft. Andre forslag til direkte solcelledrift kunne være pumper i solvarmeanlæg samt solcelledrevet styring af lys og ventilation i forbindelse med vinduer.

Videreudvikling af Be06 til bedre at kunne håndtere solenergi

Be06 er et registreringsværktøj, der kun skal anvendes til at bestemme, om en ny bygningen overholder energirammen samt til energimærkning af eksisterende bygninger. Men det må forudses, at det i høj grad vil blive anvendt til optimering af bygningsdesign samt installationer. Det er derfor vigtigt, at Be06 regner rimelig korrekt. Be06 regner i dag rimelig korrekt vedr. opvarmningsbehov, med har en for simpel tilgang til solenergi. Be06 bør derfor videreudvikles til at regne korrekt på solenergi.

5 Referencer

Energistyrelsen 2009: Energistatistik 2008

Erhvervs- og Byggestyrelsen 2008: Status for energiforbruget i bygninger - Partnerskab for lavere energiforbrug i bygninger.

Dansk Fjernvarme 2008: Varmeplan Danmark

Statens Byggeforskningsinstitut 2000: Renovering af enfamiliehuset - Holdninger til arkitektur og økologi, SBI-meddelelse 134.

Statens Byggeforskningsinstitut 2008: Efterisolering af etageboliger, SBI anvisning 221, 1. Udgave.

Partnerskabet EnergiByg 2009: Energieffektivt byggeri: Videngrundlag for partnerskabet EnergiByg

DTU Byg 2008: Forslag til nye energikrav til eksisterende bygningers klimaskærm, DTU Byg rapport SR-08-05

DTU Byg 2008: Energirenovering af enfamiliehuse, Eksamensprojekt, Tina Bull Kipper

Regeringen 2009: Strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger, april 2009

Erhvervs- og Byggestyrelsen 2009: Partnerskab for lavere energiforbrug i bygninger – Anbefalinger og egne initiativer.

Denne strategirapport om udvikling af integrerede lavenergiløsninger til eksisterende bygninger indeholder resultaterne af en løbende strategiudvikling, der foregår i Innovationsnetværket LavEByg. LavEByg beskæftiger sig med integrerede lavenergiløsninger på bygningsområdet. Strategiudviklingen er en dynamisk proces, der foretages løbende og afspejler opbygningen af viden og udviklingen på området.

Rapporten beskriver en overordnet strategi for lavenergirenovering af eksisterende bygninger og beskriver i forlængelse heraf en række detaljerede F&U strategier på forskellige faglige delområder: Hele bygningen, isoleret klimaskærm, energivinduer, glasfacader og -tage inkl. solafskærmninger og belysning, vandbåret opvarmning og køling, luftbårne systemer til ventilation, opvarmning og køling samt fjernvarme og solenergi.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk

ISSN 1601-8605